This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

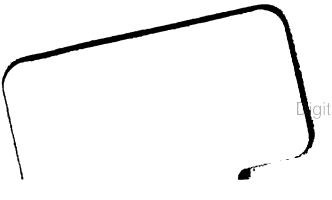
About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

TRANSFERRED
SCIENCE
LIBRARY

HARVARD UNIVERSITY.

LIBRARY
OF THE
MUSEUM OF COMPARATIVE ZOÖLOGY.
13,676
Bought
October 14, 1904



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

13.676

WISSENSCHAFTLICHE VERÖFFENTLICHUNGEN
DES
VEREINS FÜR ERDKUNDE ZU LEIPZIG.
FÜNFTER BAND.

DER WÜRMSEE
(STARNBERGERSEE)
IN OBERBAYERN.

EINE LIMNOLOGISCHE STUDIE

VON
WILLI ULE.

HERAUSGEGEBEN
MIT UNTERSTÜTZUNG DES VEREINS FÜR ERDKUNDE UND
DER CARL RITTER-STIFTUNG ZU LEIPZIG.

MIT 15 TEXTFIGUREN, 5 AUTOTYPIEN UND EINEM ATLAS VON 8 TAFELN.

LEIPZIG,
VERLAG VON DUNCKER & HUMBLOT.
1901.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

WISSENSCHAFTLICHE

VERÖFFENTLICHUNGEN

DES

VEREINS FÜR ERDKUNDE

ZU LEIPZIG.

FÜNFTER BAND.

LEIPZIG,
VERLAG VON DUNCKER & HUMBLOT.
1901.

Digitized by Google

DER WÜRMSEE

(STARNBERGERSEE)

IN OBERBAYERN.

EINE LIMNOLOGISCHE STUDIE

VON

WILLI ULE.

HERAUSGEGEBEN
MIT UNTERSTÜTZUNG DES VEREINS FÜR ERDKUNDE UND
DER CARL RITTER-STIFTUNG ZU LEIPZIG.

MIT 15 TEXTFIGUREN, 5 AUTOTYPIEN UND EINEM ATLAS VON 8 TAFELN.

LEIPZIG,
VERLAG VON DUNCKER & HUMBLOT.
1901.

Digitized by Google

Alle Rechte vorbehalten.

Druck von C. G. Naumann, Leipzig.

Digitized by Google

INHALT.

Seite

Vorbemerkung 1
Geschichtliches und Quellen 5

I. Die morphologischen und geologischen Verhältnisse.

Oro- und Hydrographie der Seeumgebung 12
Lage 12
Das Uferland 15
Zufluß und Abfluß 21
Die Gestalt des Seebeckens 25
Methode der Lotungen 26
Die Zeichnung der Tiefenkarte 35
Beschreibung der Gestalt des Seebeckens 39
Morphometrie des Sees 47
Fläche, Gliederung und Umfang des Sees 48
Meereshöhe des Seespiegels und Seegrundes 51
Mittlere Tiefe und Volumen 52
Mittlere Böschung 58
Die geologischen Verhältnisse 60
Die Ablagerungen in der Seeumgebung 61
Bildungsgeschichte der Seeumgebung 67
Spuren tektonischer Veränderungen 68
Die glacialen und postglacialen Umbildungen 69
Die jüngern Bildungen im Bereiche des Seebeckens 72
Der Seegrund 74
Die Entstehung des Würmsees 78
Die morphologischen Beweise der Glacialerosion 79
Die geologischen Beweise der Glacialerosion 85
Beweise für Wassererosion 89
Tektonische Vorgänge 93
Die Entstehungsgeschichte des Sees 96
Die systematische Stellung des Würmsees 98

Digitized by Google

II. Die physikalischen Verhältnisse.

Einleitendes 106
Die Temperatur des Wassers 107
Oberflächentemperatur 107
Tiefentemperatur 115
Methodisches 115
Jährlicher Gang der vertikalen Temperaturverteilung 123
Die Ursachen der vertikalen Temperaturverteilung 127
Die thermische Sprungschicht 130
Mehrfache Sprungschichten 132
Die jährliche Änderung in der Lage der Sprungschicht 132
Die horizontalen Änderungen der vertikalen Temperaturverteilung 137
Änderungen von Jahr zu Jahr 140
Vergleich mit anderen Seen 141
Die systematische Stellung des Würmsees nach seinen thermischen Verhältnissen 152
Farbe und Durchsichtigkeit des Wassers 154
Die Farbe 154
Methodisches 154
Wasserfarbe des Würmsees 161
Die Durchsichtigkeit 169
Sichttiefe 169
Grenze des Lichtes 175
Einige optische und akustische Erscheinungen 180
Die hydrostatischen und hydrodynamischen Erscheinungen 182
Denivellationen 182
Vertikale und horizontale Bewegungen des Wassers 183
Die Wasserstandsänderungen 190
Anhang. Chemische Beschaffenheit des Wassers 198
Zusammenstellung der Hauptergebnisse 200
Register 204
Berichtigungen 212

Digitized by Google

Blick von Starnberg auf Berg und Aufkirchen.

Östliches Uferland.

Digitized by Google

Digitized by Google

VORBEMERKUNG.

Der Würm- oder Starnberger-See, wie man jetzt mit Vorliebe sagt, ist in der jüngsten Zeit wiederholt Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchung gewesen. Penck hat sich mit der Geologie der Umgebung des Sees und in Verbindung damit mit der Frage nach seiner Entstehung eingehend beschäftigt und Geistbeck lieferte im Anschluß an Pencks Arbeiten eine erste Tiefenkarte dieses Wasserbeckens. Später lenkte dann ein wissenschaftlicher Streit zwischen Penck und Heim nochmals die Aufmerksamkeit der Geologen und Geographen auf den See, wodurch seine Erforschung ebenfalls wesentlich gefördert wurde.

Wenn nun trotz dieser eingehenden Arbeiten der Verfasser abermals den Würmsee zum Vorwurfe neuer Studien gemacht hat, so geschah dies aus mehrfachen Gründen. Einmal waren doch noch eine Reihe fraglicher Punkte vorhanden, die nur durch neue Untersuchungen an Ort und Stelle entschieden werden konnten. Das galt namentlich von den Tiefenverhältnissen, die noch keineswegs mit der Genauigkeit ermittelt worden waren, welche wir heute auf Grund der Fortschritte der Seenkunde verlangen müssen. Sodann war die Erforschung einzelner Verhältnisse, wie z. B. der physikalischen, überhaupt noch kaum in Angriff genommen worden. Diese Lücken in der Kenntnis des Würmsees zu einem Teile auszufüllen, war die Aufgabe, die sich der Verfasser gestellt hatte.

Für ihn hatten aber die Arbeiten am Starnbergersee noch einen besonderen Reiz. Er war vorher wiederholt im norddeutschen Seengebiete thätig gewesen. Dort wie hier lagen die gleichen diluvialen Ablagerungen vor. Es konnte aus dieser geologischen Gleichartigkeit der Schluß gezogen werden, daß überhaupt sich in den Seen beider Gebiete gewisse Analogieen zeigten. Gerade im Hinblick darauf schien es verlockend, auch einmal die alpinen Diluvialseen genauer zu untersuchen und mit den norddeutschen zu vergleichen.

Digitized by Google

Die Möglichkeit, diese Studien durchzuführen, verdankt der Verfasser dem Wohlwollen des Herrn Geheimrat Prof. Dr. Friedrich Ratzel, der ihm durch die Leipziger Karl Ritterstiftung auch einen Teil der Mittel dazu verschaffte.

Es bestand zunächst der Plan, die limnologischen Untersuchungen auf das ganze Gebiet der deutschen Alpen auszudehnen, also gewissermaßen die von Geistbeck aufgenommene Arbeit fortzusetzen. Allein eine solche Arbeit, bei der es sich doch nicht blos um eine Prüfung, sondern vor allem auch um eine Erweiterung der Resultate Geistbecks gehandelt hätte, würde an Zeit und Geld große Aufwendungen erfordert haben. Davon überzeugte den Verfasser eine Bereisung des Gebietes, die er im Herbst 1893 vornahm. Das Ergebnis dieser Rekognoszierungsfahrt war das völlige Aufgeben des ursprünglichen Planes. Der Verfasser entschloß sich vielmehr, zugleich auf Anraten des Professor Ratzel, Kräfte und Mittel für die Erforschung eines einzigen Sees zu verwenden. Als solcher wurde der Würmsee als der geeignetste gewählt.

Für diese Wahl waren mehrere Gesichtspunkte entscheidend. Einmal kann der Würmsee nach Lage und Gestalt als ein Wasserbecken von typischer Form betrachtet werden. Sodann sind die geologischen und orographischen Verhältnisse seiner Umgebung im allgemeinen einfache und klare, was die Untersuchung wesentlich erleichterte und am ehesten positive Resultate verhieß. Es tritt noch hinzu, daß gerade dieser See während der letzten Zeit in der Wissenschaft, wie wir eingangs schon erwähnt haben, eine besondere Rolle gespielt hat. Er ist in dem Streit um die Glacialerosion in erster Linie immer als ein Beweisobjekt benutzt worden und hat dadurch geradezu eine historische Bedeutung erlangt. Eine genaue Untersuchung gerade über seine Entstehung mußte zugleich zur Klärung der vielumstrittenen Frage nach der Gletschererosion beitragen.

Für die Entscheidung waren aber auch rein praktische Gesichtspunkte maßgebend. Die erforderlichen Messungen waren hier aller Voraussicht nach leicht ausführbar; denn in der dichtbewohnten und viel besuchten Gegend konnte die Beschaffung der Hilfsmittel und Arbeitskräfte keine Schwierigkeit bieten. Daß freilich der rege Verkehr auf dem See auch manche Störung bei den Aufnahmen bringen würde, wie er es thatsächlich gethan hat, war wohl zu befürchten, kam aber den übrigen Vorteilen, die dieser bot, gegenüber nicht in Betracht.

Es hätte nahe gelegen, die Arbeit auch auf den unmittelbar benachbarten Ammersee auszudehnen, noch dazu, da dieser in den orographischen und geologischen Verhältnissen seiner Umgebung in

Digitized by Google

engster Beziehung zu denen am Würmsee steht. Doch auch davon wurde abgesehen; der Ammersee ist ein so großes Wasserbecken, daß seine gleichzeitige Erforschung wohl auch den doppelten Aufwand an Zeit und Geld gekostet haben würde. Da er aber in mancher Hinsicht dem Würmsee sehr gleicht, so würde eine ausführlichere Untersuchung desselben uns kaum erheblich viel andere allgemeine Resultate gebracht haben. Der Ammersee ist vom Verfasser nur soweit in seinen Studien berücksichtigt worden, als es zum Verständnis der Verhältnisse am Würmsee nötig erschien.

Aus dieser Vorgeschichte der Arbeit ergiebt sich von selbst der Plan, der ihr zu Grunde zu legen war. Es galt für den Würmsee eine Monographie zu schaffen, in der wenigstens die geologischen, hydrographischen und physikalischen Verhältnisse eine dem gegenwärtigen Stande der Seenkunde entsprechende Darstellung und Behandlung erfuhren. Demgemäß nahm der Verfasser zunächst eine genaue geologische Untersuchung der Seeumgebung vor. Daran schloß sich eine sorgfältige Auslotung des Beckens an. Weiter wurden die wichtigsten hydrographischen Verhältnisse festgestellt und endlich Temperatur, Farbe und Durchsichtigkeit des Seewassers in zahlreichen Messungen bestimmt.

Zur Durchführung der Arbeiten verwendete der Verfasser die Universitätsferien. Bereits im Herbst 1893 nahm er einige Messungen vor. Sodann weilte er im März, Mai, August, September und Oktober 1894, ferner im Juni, August, September und Oktober 1895 und endlich im Mai, Juni, Juli und September 1896 am See. Jedoch war er nicht immer die vollen Monate über am See thätig, sondern mehrfach nur an einzelnen Tagen. Nachdem 1896 die Arbeiten zu einem befriedigenden Abschlusse gebracht waren, besuchte er im August und September 1897, im August und September 1899, im Juli 1900 und im Januar 1901 nochmals den See, um einige bei der Verarbeitung der früheren Ergebnisse notwendig gewordene Nachmessungen vorzunehmen.

Trotz des langen Aufenthaltes am See hat der Verfasser den obigen Plan im vollen Umfange nicht ausführen können. Dazu reichten weder seine Mittel noch seine Kräfte aus. Außerdem trat noch ein unvorhergesehenes Hindernis in der Form ungünstiger Witterung ein. Sowohl der Herbst 1895 wie auch der ganze Sommer 1896 zeichneten sich, wie bekannt, durch besonders schlechtes Wetter aus. Um die Ungunst der Witterung z. B. im Sommer 1896 nur ein wenig zu veranschaulichen, möge folgende Thatsache dienen. Es lag im Interesse der Untersuchung der thermischen Verhältnisse die Durchführung einer Reihe von Wärmemessungen an mehreren

Digitized by Google

aufeinanderfolgenden Tagen mit möglichst unveränderter Witterung. Eine solche ist nun in der Zeit vom 20. Mai bis etwa 20. September 1896 nicht einmal eingetreten.

Ein weiterer Umstand, der die Durchführung der Arbeit im ursprünglich geplanten Umfang erschwerte, war die Unzulänglichkeit der Hilfsmittel. In den ersten Jahren der Studien fehlte sogar das nötige Kartenmaterial. Für die Ostseite des Sees lagen nur ältere Karten im Maßstab 1 : 50 000 vor, die für genauere topographische Arbeiten nicht ausreichten. Die neuen vortrefflichen Positionsblätter in 1 : 25 000 sind erst in den letzten Jahren, z. T. sogar erst 1899 erschienen.

Die Unzulänglichkeit der Hilfsmittel erstreckte sich auch auf die limnologischen Instrumente. Infolge des jugendlichen Alters der wissenschaftlichen Seenkunde fehlt es uns vielfach noch an geeigneten Apparaten wie auch an hinreichend erprobten Methoden. Bei der Erforschung des Würmsees galt es daher zugleich auch die Seenkunde selbst nach dieser Seite weiter auszubauen und zu festigen. Einzelne Untersuchungen gehen kaum über die Erörterung solcher rein methodischer Fragen hinaus.

Ein erhebliches Hindernis bei der Ausführung der Arbeit bildete für den Verfasser schließlich auch die weite Entfernung von dem Gegenstand seiner Studien. Sie hat sich namentlich bei der Verarbeitung des gesammelten Materials geltend gemacht und verzögerte wesentlich deren Abschluss. Auch war infolgedessen die Ausdehnung der Untersuchungen auf den Winter so gut wie unmöglich, obwohl das aus vielen Gründen wünschenswert gewesen wäre.

So übergiebt der Verfasser eine Arbeit der Öffentlichkeit, der noch manche Lücken und Mängel anhaften. Allein wer aus eigener Erfahrung die Schwierigkeiten kennt, mit denen ein Seenforscher bei den oft beschränkten Mitteln zu kämpfen hat, wird eine solche Studie wie die vorliegende mit Nachsicht beurteilen. Es wäre in der That an der Zeit, daß endlich die Erforschung unserer Binnenseen von den Regierungen in die Hand genommen würde. Sie liegt aus vielfachen Gründen doch geradezu im öffentlichen Interesse. Ein einzelner Privatmann ist nur schwer imstande, solche in hohem Maße Geld und Zeit erfordernde Unternehmungen in erschöpfender Weise durchzuführen.

Der Verfasser hat darum auch bei den Arbeiten draußen am See wie daheim in der Studierstube oft die Hilfe anderer in Anspruch nehmen müssen. Sie ist ihm von allen Seiten bereitwilligst erteilt worden, so namentlich von dem früheren Direktor des topographischen Bureaus in München, Herrn Generalmajor Neureuther, ebenso von

Digitized by Google

dem kgl. hydrotechnischen Bureau in München, ferner von Herrn Bergrat Dr. v. Ammon, Herrn Prof. Dr. Penck, Herrn Dr. E. Forster u. a. m. Ihnen allen sei dafür aufrichtig Dank gesagt. Möge es unter dieser Beihilfe dem Verfasser gelungen sein, ein Werk zu schaffen, das in Wahrheit einen Fortschritt in unserer Kenntnis bedeutet.

Dieser Wunsch drängt sich dem Verfasser umsomehr auf, als seine Arbeit von dem Vereine für Erdkunde in Leipzig bei besonderer Gelegenheit, bei der Feier des 40jährigen Bestehens, herausgegeben wird. Er möchte dadurch dem Vereine, der ihm auch z. T. die Mittel zu seiner Studie gewährt und die grossen Kosten des Druckes der Arbeit übernommen hat, ein wenig von dem Danke abstatten, den er ihm im hohen Maße schuldet.

Das Manuskript ist im wesentlichen bereits Ende 1899 vollendet gewesen. Aus dem oben erwähnten Anlasse wurde aber die Veröffentlichung noch bis zu dem Jubiläum verschoben. Die so gewonnene Zeit wurde vom Verfasser dazu benutzt, noch einige wichtige, die bisherigen Resultate ergänzende Messungen am See vorzunehmen und außerdem den Text mannigfach zu erweitern. Es geschah das mit Rücksicht auf die Art der Herausgabe. Das Buch erhielt durch diese einen bedeutend erweiterten Leserkreis. Der Verfasser glaubte dem dadurch Rechnung tragen zu sollen, daß er in den einzelnen Abschnitten über den Rahmen der eigenen Untersuchung hinaus auch zu einigen allgemeinen Problemen der Seenkunde Stellung nahm, wie das unter anderem in dem Abschnitte „Die systematische Stellung des Würmsees“ geschehen ist.

Die Herausgabe dieser neuen Studie über den Würmsee an dem Jubiläumstage des Vereins hat auch eine historische Begründung. Vor 15 Jahren bei der Feier des 25jährigen Bestehens wurde von dem Vereine das verdienstvolle Werk Alois Geistbecks „Die Seen der deutschen Alpen“ veröffentlicht, noch heute die beste Arbeit, die wir über diesen Gegenstand besitzen.

GESCHICHTLICHES UND QUELLEN.

Es kann hier nicht unsere Aufgabe sein, eine erschöpfende Darstellung von der Geschichte der Erforschung des Würmsees zu geben. Diese müssen wir dem Historiker überlassen. Wohl aber erscheint es uns angebracht, unseren eigenen Ausführungen einen geschichtlichen Überblick vorauszuschicken und namentlich anzugeben, welche

Digitized by Google

Arbeiten der unsrigen unmittelbar vorausgegangen sind, also gleichsam die Grundlage bilden, auf der wir weiter gebaut haben.

Über Lage und Gestalt des Würmsees unterrichten uns bereits die ältesten Karten Bayerns, wir finden die Wasserfläche eingezeichnet in die von der Gesellschaft für Erdkunde zu München jetzt neu veröffentlichte Karte von Aventin, die 1523 erschien, sowie auch in dem Kartenwerk Apians, das 1565 herausgegeben wurde. Auf diesen alten Karten führt der See übrigens nur die Bezeichnung Würmsee oder Verres lacus. Dieser Name ist offenbar der ursprüngliche und darum der allein richtige, während der See nach dem Orte Starnberg vermutlich erst in der Zeit lebhafteren Verkehrs von dem aufblühenden München aus, also wohl erst im 18. Jahrhundert, benannt wurde.

Über diese ältesten Veröffentlichungen aus dem Gebiete bayerischer Landeskunde hat der Münchener Geograph Chr. Gruber eine umfangreiche Schrift veröffentlicht, auf die wir den Leser hier verweisen möchten. Gruber behandelt darin die landeskundliche Erforschung Altbayerns im 16., 17. und 18. Jahrhundert.[1] In knapper Fassung hat vor kurzem auch E. Oberhummer die Entwicklung der bayerischen Landeskunde dargestellt in einem Aufsatze, der in der Altbayerischen Monatsschrift des historischen Vereins von Oberbayern herausgegeben ist.[2]

Die erste wirkliche Beschreibung des Würmsees hat der bekannte bayerische Gelehrte Lorenz v. Westenrieder gegeben. Er ist einer der verdienstvollsten Erforscher Bayerns aus dem 18. Jahrhundert. Chr. Gruber hat in einem Aufsatze die Verdienste dieses Mannes um die bayerische Geographie eingehend gewürdigt und ihn als den ältesten Vertreter landeskundlicher Monographieen für Bayern bezeichnet.[3]

Westenrieder hat eine selbständige Schrift über den Würmsee verfasst, die den Titel trägt: „Beschreibung des Wurm- oder Starenbergersees und der umliegenden Schlösser etc. samt einer (von Adrian v. Riedl entworfenen) Landkarte". Sie ist im wesentlichen ein Führer für die Besucher des Sees, der nun schon als Starenberger See bezeichnet wird, enthält aber auch eine ganze Reihe wertvoller Bemerkungen über die Natur jener Gegend, die das Bemühen erkennen lassen, tiefer in den Gegenstand einzudringen. Westenrieder macht bereits Andeutungen über die Form des Seebeckens. Von den Anwohnern hat er Nachricht erhalten über das Vorhandensein mehrfacher Aufwölbungen des Untergrundes, sogenannter Berge bei Garatshausen und Feldafing. Die Fischer kannten also damals vermutlich schon das terrassenförmige Abfallen des Sees längs des Westufers

Digitized by Google

und das Ansteigen der Terrasse am Rande des Abfalles zur Tiefe. Weiter beschrieb Westenrieder von den physikalischen Erscheinungen des Sees nach Gruber die geringe Tiefenerstreckung der Wellenbewegung, das „Rinnen des Wassers", eine Aufschwellung, welche an die Erscheinung der Seiches erinnert, und sodann das sogenannte „Blühen oder Reinigen des Sees", die Trübung seiner Durchsichtigkeit durch emporgetragene Pflanzen- und schwebende Bodenteile gelegentlich der Wiedererwärmung der Wasserschichten während des Frühlings. In der zweiten Auflage dieses Buches berührt der Verfasser bereits die Frage nach der Entstehung der südbayerischen Moränenlandschaft und schließt sich dabei der Ansicht des Dr. Gruithuisen an, nach der die erratischen Blöcke durch den Gletscher von dem Gebirge in die Ebene getragen sind. Gruithuisen hat nach den interessanten Ausführungen Günthers[4] durch diesen Gedanken der heutigen Glacialtheorie wesentlich vorgearbeitet.

Westenrieders Beschreibung des Sees ist aber dann für lange die einzige monographische Darstellung geblieben. Unsere Kenntnis vom See mit seiner Umgebung wurde in der Folgezeit fast nur nach der topographischen Seite hin erweitert. Namentlich hat uns die neue Kartierung Bayerns unter der Leitung Adrian v. Riedls die erste sichere kartographische Grundlage für eine weitere Forschung gebracht. Der von Riedl bearbeitete „Stromatlas von Bayern", der 1806 erschien, war in jeder Hinsicht eine hervorragende Leistung. In diesem Atlas finden wir auch die erste annähernd richtige Angabe über die Maximaltiefe des Sees.

A. v. Riedl trat später an die Spitze des durch französische Offiziere neu eingerichteten topographischen Bureaus, dem wir jetzt eine Reihe vortrefflicher Karten Bayerns verdanken. Aus diesem Bureau sind hervorgegangen der „topographische Atlas" in 1:50000 (jetzt neu bearbeitet), die „Positionsblätter" in 1:25000 (noch im Erscheinen), ferner der bayerische Teil der deutschen Reichskarte in 1:100000 (nahezu vollendet) und endlich die Karte von Südwestdeutschland in 1:250000, die zugleich die Grundlage zu einer „Hypsometrischen Karte von Bayern" in 1:250000 bildete. Alle diese Karten haben auch uns vortreffliche Dienste geleistet, sie sind für jeden, der sich mit dem Studium bayerischer Landeskunde beschäftigt, unentbehrlich.

Allgemeine geographische Darstellungen haben J. F. Weiß in seiner Schrift „Südbayerns Oberfläche nach ihrer äußeren Gestalt" (1820) und dann Fr. Wilh. Walther in seinem Werk „Topische Geographie von Bayern" (1844) geliefert. Bedeutsamer noch ist das große auf Anregung König Maximilians II. von W. H. Riehl herausgegebene

Digitized by Google

Werk „Bavaria“. In allen diesen Werken ist naturgemäß auch der Würmsee und seine Umgegend behandelt, allein die betreffenden Ausführungen beruhen meist nicht auf neuen Untersuchungen und können daher kaum als Fortschritte in unserer Kenntnis dieses Wasserbeckens angesehen werden. Immerhin verdienen sie Beachtung, weil sie z. T. treffende Schilderungen der Natur und namentlich auch des Bodenbaues Südbayerns enthalten. Sie bringen auch die ersten geologischen Darstellungen des bayrischen Alpenvorlandes. Vor allem gab der berühmte Geologe Wilhelm v. Gümbel uns die erste „Geognostische Beschreibung des Königreichs Bayern“. Dieses Werk sowie die ebenfalls von Gümbel verfaßte, erst 1894 vollendete „Geologie von Bayern“ bilden beide die wichtigste Grundlage für jede weitere geologische Untersuchung. In ihnen erörtert Gümbel auch die Frage nach der Entstehung der oberbayerischen Seen und schenkt dabei auch dem Würmsee Beachtung.[5]

Gümbel wurde dazu angeregt durch die neueren Arbeiten anderer Forscher, die den Würmsee zeitweise in den Vordergrund des wissenschaftlichen Interesses stellten. Es war das in erster Linie Albrecht Penck, der in seinem Werke „Die Vergletscherung der deutschen Alpen“ die in der Mitte des 19. Jahrhunderts begründete Glacialtheorie ausbaute und im besonderen ihre Bedeutung für das alpine Vorland klarlegte.[6] Er wies den glacialen Ursprung der bayerischen Hochebene nach, die zum Teile von dem Gesteinsmateriale der diluvialen Gletscher aufgeschüttet und durch die Arbeit derselben ihre eigentümlichen Formen erhalten habe. Den Gletschern maß er eine starke erodierende Kraft zu, durch welche auch die zahlreichen voralpinen Seebecken geschaffen sein sollten. Der Würmsee galt ihm nach Form und Lage als ein typisches Beispiel solcher glacailer Arbeitsleistung.

Durch diese Behauptungen rief er einen lebhaften Streit um die Frage nach der Möglichkeit einer starken Glacialerosion hervor. Auf der gegnerischen Seite stand namentlich der erfahrene Schweizer Geologe Albert Heim. Um eine Klärung über den Gegenstand herbeizuführen, veranlaßte Penck seinen Gegner zu einer gemeinsamen Bereisung der in Betracht kommenden Gebiete, besonders der Gegend am Würm- und Ammersee. Das Ergebnis war eine genaue Festlegung der thatsächlichen Beobachtungen, die noch heute eine wichtige Quelle für alle geologischen Arbeiten in jenem Gebiete bildet. Hinsichtlich der Deutung der Beobachtungen wurde insofern eine Einigung erzielt, als Penck die Erosion der Gletscher auf die Wiederaushöhlung, Re-excavation, der vorher mit lockeren Schottern erfüllten Thäler und auf die Austiefung von Becken in weichem Materiale be-

Digitized by Google

schränkte, und Heim diese Arbeitsleistung für möglich, für die alpinen Vorlandseen sogar für wahrscheinlich erklärte, aber die Bildung der Seebecken durch die Gletscherthätigkeit noch nicht als erwiesen ansah.[7]

Penck konnte bei seinen Untersuchungen über die Entstehung der oberbayerischen Seen die Form der Becken noch nicht berücksichtigen; er war hinsichtlich der Tiefenverhältnisse auf ziemlich unzuverlässige Angaben angewiesen. Diese Lücke wenigstens zu einem großen Teile ausgefüllt zu haben, ist das Verdienst Alois Geistbecks, der auf Anregung Fr. Ratzels die Seen der deutschen Alpen zum Gegenstand einer besonderen Studie machte und namentlich durch zahlreiche Lotungen die ungefähre Form dieser Becken festzustellen suchte. Ihm verdanken wir auch die erste Auslotung des Würmsees, deren Ergebnis zwar mit vielen Fehlern behaftet war, aber uns doch wenigstens eine durch Beobachtungen begründete Vorstellung von den allgemeinen Tiefenverhältnissen gab.[8]

Geistbeck hat im Anschluß an seine Lotungen und seine geologischen Studien auch die Frage der Entstehung des Würmsees in Angriff genommen. Da er die Möglichkeit einer Erosion durch Gletscher von vornherein annimmt, so kommt er zu denselben Schlüssen wie Penck, dessen Ausführungen er sich vollkommen anschließt. Die Frage ist daher immer noch als eine offene zu bezeichnen.

In jüngster Zeit haben die Arbeiten von Heim und Früh am Züricher See, aus denen die Bildung dieses Seebeckens sich als eine Wirkung quartärer Schichtenstörungen erwies, von neuem die Untersuchung des deutschen Alpenvorlandes angeregt, die auch für dieses Gebiet Bewegungen der Schichten nach ihrer Ablagerung ergaben. Nach Penck liegt der Würmsee noch im Bereiche solcher tektonischen Störungen, die sich aus der gegenwärtigen Neigung der quartären Ablagerungen ergeben sollen.[9]

Alle diese Arbeiten behandeln den Würmsee nicht als Gegenstand umfassender wissenschaftlicher Untersuchungen; eine eigene Monographie dieses Wasserbeckens ist seit Westenrieder nicht wieder erschienen. Dagegen ist der See oft zum Zwecke besonderer Studien besucht worden. So hat in den sechsziger Jahren Prof. Moritz Wagner[10] dort wichtige Beobachtungen über Pfahlbauten ausgeführt, von denen Reste bei der Roseninsel gefunden waren. Hermann von Schlagintweit hat die vertikale Temperaturverteilung im See untersucht[11] und Pfaff Tiefenbestimmungen darin vorgenommen.[12] Bei der Frage nach einer zweckmäßigen Wasserversorgung Münchens wurden dann durch Thiem die hydrographischen Verhältnisse des Sees eingehender untersucht.[13] Diese sind auch von Soyka in seiner Ab-

Digitized by Google

handlung „Die Schwankungen des Grundwassers“ berührt worden.[14] In neuerer Zeit haben Sieger und Früh über die eigenartige hügelreiche Gegend im Südwesten des Sees interessante Mitteilungen gemacht[15] und der Münchener Geologe L. von Ammon die geologischen Verhältnisse in der Umgebung des nördlichen Sees ausführlich behandelt.[16]

Doch es würde zu weit führen, wollten wir hier aller der Arbeiten gedenken, welche in irgend einer Weise in Beziehung zum Würmsee stehen. Namentlich müssen wir alle Arbeiten aus dem Gebiete der Zoologie und Botanik unerwähnt lassen, da sie nicht in unser eigenes Arbeitsfeld fallen. Der See, am Fuße der Alpen in prächtiger Umgebung gelegen, hat eben jederzeit nicht nur Touristen und Sommerfrischler, sondern auch Männer der Wissenschaft angelockt, die hier reichen Stoff zu eingehenden Studien vorfanden. Als Quelle wissenschaftlicher Arbeit ist er auch heute noch nicht erschöpft. Unsere nachfolgenden Ausführungen werden zeigen, wie jenes Gebiet auch in Zukunft noch für wissenschaftliche Forschung Lohn und Genuß verheißt.

Litteratur.

[1] Christian Gruber, Die landeskundliche Erforschung Altbayerns im 16., 17. und 18. Jahrhundert. (Forsch. zur deutsch. Landes- u. Volkskunde. VIII. Bd. Heft 4). Stuttgart 1894.

[2] Eugen Oberhummer, Über die Entwicklung und die Aufgaben der bayerischen Landeskunde. (Altbayerische Monatsschrift. I. Jahrg., Heft 1). München 1899.

[3] Christian Gruber, Die Verdienste Lorenz von Westenrieders um die bayerische Geographie. (Jahresbericht d. Geogr. Gesellschaft in München.) München 1894. — L. v. Westenrieder, Beschreibung des Wurm- oder Starenbergersees u. s. w. München 1784. 2. Aufl. 1806.

[4] Siegmund Günther, Glacial- und Drifthypothese auf bayerischem Boden entstanden. (Jahresbericht d. Geogr. Gesellschaft in München). München 1894.

[5] K. Wilh. v. Gümbel, Geognostische Beschreibung des bayerischen Alpengebirges und seines Vorlandes. Gotha 1861. — Derselbe, Geologie von Bayern. Bd. II. Kassel 1894.

[6] Albrecht Penck, Die Vergletscherung der deutschen Alpen. Leipzig 1882.

[7] Albert Heim u. Albr. Penck, Aus dem Gebiet des alten Isargletschers und des alten Linthgletschers. (Zeitschr. d. Deutsch. geol. Gesellschaft.) 1886.

[8] Alois Geistbeck, Die Seen der deutschen Alpen. Leipzig 1885.

[9] A. Penck, E. Brückner und L. du Pasquier, Le système glaciaire des Alpes. Neuchâtel 1894.

[10] Moritz Wagner, Über das Vorkommen von Pfahlbauten in Bayern. (Mathem.-physik. Klasse d. k. bayer. Akademie der Wissenschaften, 1866.) München 1867. — Schab, Die Pfahlbauten im Würmsee.

[11] Hermann v. Schlagintweit, Über die Temperatur von Alpenseen in großen Tiefen nach Beobachtungen am Starnberger See und Chiemsee. (Sitzungsbericht d. k. bayer. Akademie der Wissenschaften.) München 1867.

Digitized by Google

[13] Pfaff, Über Tiefenbestimmungen von Seen. (Zeitschr. d. deutsch. u. österreich. Alpenvereins). 1879.

[14] A. Thiem, Die Wasserversorgung der Stadt München. München 1877.

[14] Isidor Soyka, Die Schwankungen des Grundwasserstandes. (Geogr. Abhandl. herausgeg. v. A. Penck. II. Bd., Heft 3.) Wien 1888.

[15] Robert Sieger, Zur Entstehungsgeschichte des Bodensees. (Richthofen-Festschrift.) 1893. — Joh. Früh, Die Drumlinslandschaft der nördl. Voralpen. (Jahresber. der naturw. Gesellsch. St. Gallen. 1894/95.) St. Gallen 1896.

[16] Ludwig v. Ammon, Die Gegend von München. (Jahresber. d. Geogr. Gesellsch. in München.) München 1894. — Derselbe, Geologische Bilder aus der Münchener Gegend. (Geognost. Jahreshefte, XII. Jahrg.) München 1899.

Digitized by Google

I. Die morphologischen und geologischen Verhältnisse.

Oro- und Hydrographie der Seeumgebung.

Lage.

Der Würmsee gehört zu den alpinen Vorlandseen. Von dem Fuße der Alpen ist er noch 20 km entfernt, aber gleichwohl ist er noch als eine durchaus alpine Bildung zu betrachten; denn er liegt in der oberdeutschen Hochebene, die zum größten Teile aus alpinem Gesteinsmateriale aufgebaut und in ihrer Entstehung eng mit der letzten geologischen Geschichte der Alpen verknüpft ist.

Die oberdeutsche oder bayerische Hochebene, die sich bis zu dem Thale der Donau nach Norden erstreckt, zeigt eine mehrfache Gliederung. Im Norden stellt sie ein flach welliges Gelände dar, das Penck in seinem Werk „Das deutsche Reich" als Tertiärhügelland bezeichnet.[1] Man durchfährt es mit der Bahn auf der Strecke von Ingolstadt bis Pfaffenhofen oder von Regensburg bis Freising. Dann beginnt eine sanft nach Süden ansteigende Ebene, die Schotterfläche der diluvialen Alpenflüsse, auf der München gelegen ist. Von ihr aus kommt man nach Süden in ein orographisch vollkommen anders gestaltetes Gebiet, in die Moränenlandschaft der letzten diluvialen Alpengletscher. Sie begleitet den Fuß der Alpen in der Gegend von München in einer Breite bis zu 50 km. Die Oberflächenformen zeigen in dieser Zone der Hochebene ein sehr mannigfaltiges Bild. Breite Thalböden, von Mooren, hier Möser oder Filze genannt, oder Seen erfüllt, werden von einem scheinbar regellosen Hügellande umrahmt. Die Hügel reihen sich in langen Ketten aneinander oder bilden selbst langgestreckte Höhenrücken, die zu mehreren parallel nebeneinander sich hinziehen, nach Norden sich nähern und schließlich zu einem breiten Walle sich vereinigen, durch den dann jene see- oder moorerfüllten Senken amphitheatralisch abgeschlossen werden.

Digitized by Google

Dieses oberbayerische Hügelland am Fuße der Alpen trägt ganz und gar den Charakter einer echten Grundmoränenlandschaft, wie wir sie in ausgeprägter Form auch in Norddeutschland finden. Das bayerische Gebiet zeigt aber im allgemeinen etwas mehr Einheitlichkeit als jenes baltische, das mit Recht als „bucklige Welt" bezeichnet worden ist. Nur wo die Moränenwälle in einzelne sich aneinander scharende Hügel, Drumlins, zerschnitten sind, zeigt sich eine der buckligen Welt ähnliche Vielheit der Bodenformen. In der äusseren Gestalt des Geländes, namentlich in dem Vorherrschen bestimmter Richtungen, die oft einen auffallenden Parallelismus der orographischen Linien bedingen, gleichen sich aber die beiden räumlich weit getrennten Landschaften durchaus. Sie stimmen auch überein in dem Reichtum an Seen und Mooren, die dort wie hier meist von bewaldeten Hügeln umgeben werden. Die gleichen Ursachen haben eben auch ähnliche Formen des Bodens erzeugt. Ein wesentlicher Unterschied besteht nur in dem Materiale, aus dem der Boden aufgebaut ist, dessen Verschiedenheit sich aus der abweichenden Beschaffenheit des Ursprungslandes der Gletscher und aus der Lage der beiden Gebiete zu diesem erklärt. Soweit Unterschiede in der Gestalt des Geländes sich zeigen, dürften sie ebenfalls in dieser Thatsache begründet sein.

Über die Lage des Sees mag die beigefügte Übersichtskarte in 1 : 250 000 — ein Ausschnitt aus der Höhenschichtenkarte von Süddeutschland*) — unterrichten. Man erblickt auf derselben im Süden eine große breite Bodensenke, die sich im Loisachthale noch tief in das Gebirge hinein erstreckt. Nach Norden erweitert sie sich und teilt sich zugleich in drei Thalzüge, von denen das westliche das Thal der Ammer und des Ammersees, das östliche das der Loisach und Isar, das mittlere das des Würmsees bildet. Getrennt werden diese durch breite Hochflächen, denen langgestreckte Moränenhügel aufgesetzt sind. Die Thäler selbst lassen sich z. T. bis zum Gebirge hin verfolgen, das der Ammer führt zum Staffelsee und dem oberen Loisachthale und das des Würmsees zu dem mittleren Loisachthale und Kochelsee. Von dem mittleren Loisachthale zweigt sich dann das untere ab, das sich mit dem Thale der Isar vereinigt.

Das weite Gebiet südlich des Würmsees bis zum Gebirge erscheint aber gleichwohl als eine einheitliche Depression, als eine tiefe Senke, aus der sich nördlich in der Umrahmung des Würmsees erst wieder höhere Berge erheben. Von diesen Höhen

*) Diese Karte ist uns in dankenswerter Weise von dem topographischen Bureau in München geliefert worden.

Digitized by Google

aus reicht der Blick ungehindert bis zu dem Fuße der Alpen; man hat den Eindruck als wenn das dazwischenliegende Land wie in einem Grabenbruch eingesunken sei.

Thatsächlich überragen die Höhen zu beiden Seiten des Sees jene Depression nahezu um 100 m. Der Spiegel des Kochelsees liegt in einer Höhe von 596 m, 12 m höher als der des Würmsees. Das ganze Gebiet in der Umgebung des Kochelsees und Staffelsees hat aber nur eine mittlere Höhe von etwa 650 m, während die Umrahmung des Würmsees auf große Flächen sich auf mehr als 700 m erhebt.

Diese orographischen Verhältnisse lehren uns, daß der Würmsee zu jenen großen Wasserbecken gehört, welche die breiten diluvialen Thalsenken der Moränenlandschaft ausfüllen. Er bildet ein charakteristisches Beispiel dieser. Sein Thal wird im Norden von Moränenhügeln abgeschlossen, die sich als ein mächtig aus der Landschaft hervortretender Wall etwa 2 km von dem Nordende des Sees erheben, durchschnitten von der schmalen Furche der Würm, des Seeabflusses. In einem weiten Bogen wenden sich die Moränenzüge nach Süden und umrahmen so die Einsenkung in ihrer ganzen Erstreckung. Wie ein Riesenamphitheater breitet sich die Landschaft vor dem Beschauer aus, sobald er von Norden kommend die Höhen des Grenzwalles erreicht.

Ein Bild von großer landschaftlicher Schönheit! Westenrieder hat es vor über 100 Jahren mit folgenden treffenden Worten geschildert: „Die sanften Berge, welche sich zu beyden Seiten längst dem See hinabziehen, sind größtentheils mit anmuthigen Waldungen, zwischen welchen schöne, frische Felder und Wiesen innen liegen, wie mit einer Tapete, geziert. Am Fuße der Hügeln liegen, im romantischen Reiz, einsame und ärmliche Schifferhütten, aber auf den ofnen Anhöhen erblickt man, fast immer in Entfernungen von weniger als einer Stunde, ansehnliche Schlösser mit Thürmen und Mauern, und darunter einzelne Kirchen, beyderseits den ganzen See hinunter, an dessen Ende die, wiewohl noch weit entfernten baierischen Alpen, und hinter diesen, die himmelhohen Felsen und Schneegebirge sich aufthürmen. So weit offen und groß der Anblick ist: so enthält er doch nichts Wildes, noch Fürchterliches, sondern, wo das Auge sich hinwendet, genießt es einen lauteren Jubel und eine ununterbrochene Heiterkeit von Ende zu Ende.“ Wir haben den Worten nichts weiter hinzuzufügen, sie kennzeichnen auch heute noch jene Landschaft. Nur die „einsamen und ärmlichen Schifferhütten“ sind verschwunden, an ihre Stelle sind zahlreiche z. T. schloßartige Villen getreten.

Digitized by Google

Blick von Tutzing auf den Karpfenwinkel.

Westliches Uferland.

Digitized by Google

Digitized by Google

Das Uferland.

Von dem Spiegel des Sees steigt das Gelände im allgemeinen sanft an. Nur auf der Ostseite nähern sich die Höhen dem Wasserspiegel und fallen steil zu diesem ab. Eine breite Hochfläche, die mit einzelnen Hügeln und Rücken besetzt ist, begleitet das Ostufer. Vereinzelt tritt jedoch auch diese von dem Becken etwas zurück, so in Ammerland und Ambach; im allgemeinen aber ist hier am Strande kein Raum für Siedlungen. Diese liegen vielmehr auf der Hochfläche selbst oder an deren Abfalle zum See. Erst am Südende des Sees bei St. Heinrich senkt sich die Hochfläche in sanfterer Neigung zum Wasser ab.

Im Westen liegen dagegen die höchsten Rücken meist erst 1 bis 2 km vom See entfernt. Von dort steigt das Gelände dann terrassenförmig zum Wasserspiegel ab. Vielfach begrenzt diesen ein flaches Land, so am sogenannten Karpfenwinkel südlich Tutzing oder an der Bucht bei Seeseiten. Auf den breiten Terrassen finden wir zahlreiche Ortschaften. Einzelne liegen unmittelbar am See, wie Starnberg, Tutzing, Bernried und Seeshaupt. Der Gegensatz zwischen Ost- und Westufer wird durch unsere Bilder gut veranschaulicht. Die Aufnahme von Berg und Aufkirchen (Titelbild) zeigt uns das steile Ostufer, diejenige von Tutzing nach dem Karpfenwinkel das allmählich sich abdachende Westufer.

Das terrassenförmig ansteigende Gelände im Westen führt wie im Osten schließlich hinauf zu einer breiten Hochfläche, die Würm- und Ammersee scheidet.

Diese Geländeformen begleiten den See aber nur etwa bis zum Karpfenwinkel. Dann ändert sich das orographische Bild. Der Boden wird niedriger und zeigt eine weit mannigfaltigere Gestalt. Breite moorerfüllte Senken wechseln mit sanft gewölbten Hügeln, die in fast unzählbarer Fülle aufragen und etwas entfernt vom See jene charakteristische Landschaft bilden, die man nach dem Vorgang schottischer Geologen als Drumlinslandschaft bezeichnet.

Durch diesen mannigfaltigeren Aufbau des Bodens ist die Westseite des Sees landschaftlich weit schöner als die Ostseite, die mit ihrem gleichmäßig steilen Abfall eintönig erscheint.

Eine gewisse Eintönigkeit finden wir westlich des Sees nur am äußersten Südende. Von Seeseiten an verändert sich noch einmal das Landschaftsbild. Den See begleitet eine breite fast horizontale, kaum 10 m über den Seespiegel aufragende Ebene, aus der erst etwa 1 km vom Ufer entfernt niedrige Hügel sich erheben. In diese sind breite, flache Thalböden eingesenkt, erfüllt von großen Mooren

Digitized by Google

und zahlreichen Seen, unter denen der vielgegliederte, inselreiche Ostersee der größte ist. Er liegt bereits in flachwelligem Hügelland, also wieder im Bereiche der eigentlichen Moränenlandschaft und gleicht in seiner äußeren Form und seiner Lage ganz den übrigen Moränenseen, die den Würmsee namentlich auf der Westseite zahlreich umschwärmen. Alle diese kleinen Seen haben in ihrer äußeren Erscheinung meist mehr Ähnlichkeit mit den Seen des baltischen Höhenrückens als die großen alpinen Vorlandseen wie Ammer- und Würmsee. Unser beistehendes Bild des Ostersees, das wir als typisch für diese Landschaftsform betrachten dürfen, wird die Behauptung vollauf rechtfertigen.

Südlich des Ostersees bei Iffeldorf vereinigt sich das westliche Hügelland mit den Ausläufern der Moränen im Osten des Sees und schließt so das Becken des Sees auch nach Süden ab.

Es ist somit heute nicht mehr die ganze Thalsenke des Würmsees mit Wasser erfüllt. Zwischen Seeshaupt und St. Heinrich liegt ein breites moorerfülltes Gebiet, das wir als einen jetzt trocken gelegten Teil des Würmseebeckens betrachten müssen.

Auch im Norden ist der Boden desselben jetzt auf einer Strecke von mehr als 2 km trocken, die durch ihre Ebenheit durchaus den Eindruck eines alten Seebodens macht. Auch sie ist zum größten Teile von Mooren bedeckt.

Nur der mittlere Teil der Senke ist also heute noch von Wasser erfüllt. Der fast flußartig schmale See erstreckt sich in annähernd nordsüdlicher Richtung. Erst die nördliche Hälfte des Sees wendet sich etwas nach Nordosten, sodaß die Mittellinie der ganzen Fläche eine gebrochene Linie darstellt. Die gleiche Biegung zeigt das östliche Ufer, das im allgemeinen außerordentlich gleichmäßig verläuft. Nur ganz vereinzelt treten kleine Landzungen aus ihm hervor; oft sind diese nur die Schuttkegel der einmündenden Bäche. Die westliche Uferlinie ist dagegen reich an Ein- und Ausbuchtungen. Schon in ihrem gesamten Verlaufe wechselt sie wiederholt die Richtung. Im Süden bildet sie die große Bucht von Seeshaupt und Seeseiten. Dann springt südlich von Bernried eine breite Landzunge vor, an die sich nördlich Höhenried eine kleinere anschließt. Zwischen beiden liegt die Bucht von Bernried. Weiter nördlich stoßen wir im sogenannten Horn wieder auf eine breite Halbinsel, hinter der das Wasser tief nach Westen als Karpfenwinkel ins Land eingreift. Von Unterzeismering*) an verläuft dann das Ufer im allgemeinen von

*) Die Ortsnamen sind sämtlich den bayerischen Positionsblättern entnommen, darum auch in der dort üblichen Weise geschrieben.

Digitized by Google

Der Ostersee, südlich von Seeshaupt.

Ein echter Moränensee.

Digitized by Google

Digitized by Google

SSW nach NNO, bildet aber eine fast ununterbrochene Kette kleinerer Buchten. Die scheidenden Landvorsprünge sind wie an dem Ostufer häufig deltaartige Bildungen der Zuflüsse.

Im Karpfenwinkel erhält der See seine größte Breite von annähernd 5 km. Von dort verschmälert er sich stetig nach dem Nordende zu.

Die weite Wasserfläche wird nur von einer größeren Insel unterbrochen. Diese Insel, die Roseninsel genannt, liegt nahe dem westlichen Ufer bei Feldafing. Einige kleinere ganz unbedeutende Inseln finden sich noch am westlichen Ufer bei Pöcking. Sie werden aber bei Hochwasser überflutet.

Der Gegensatz in der Form der beiden Hauptuferlinien entspricht ganz der Bodengestalt des Uferlandes. Im Osten wird der See von einer steil zum See abfallenden ziemlich einförmigen Hochfläche begrenzt, die oft so nah an das Wasser herantritt, daß kaum für eine Fahrstraße Raum bleibt. Sie bedingt auch einen einförmigen Verlauf der Uferlinie. Im Westen dagegen haben wir ein terrassenförmig aufsteigendes Gelände von großer Mannigfaltigkeit, eine echte Moränenlandschaft mit einem Gewirr von Hügeln und Bodensenken, innerhalb welcher die Höhenlinien in unzähligen Krümmungen verlaufen. Eine solche vielgebogene Niveaulinie stellt darum auch die Grenze des Wasserspiegels dar.

Schroff aufsteigende Ufer finden sich am westlichen Ufer nirgends. Wo sich das Land unmittelbar am See zu größerer Höhe erhebt, zeigt es einen allmählichen Abfall. Flaches Uferland wiegt hier entschieden vor.

Am Südende des Sees bei Seeshaupt beobachten wir unmittelbar am Ufer eine weithin sichtbare Terrasse, die zum See steil abfällt, nach dem Lande hin aber, wie wir oben gezeigt haben, eine breite Ebene begrenzt. Sie überragt den See um rund 10 m. Diese Terrasse ist, nach einem Aufschlusse südlich von Seeshaupt zu urteilen, ein altes Delta, das einst von Flüssen in den See hineingebaut ist. Sie zwingt uns zu der Annahme, daß der Spiegel des Sees zu der Zeit der Aufschüttung des Schuttkegels um mehr als 10 m höher gelegen haben muß. Sichere Spuren davon sind außer in dem Delta heute nicht mehr zu finden. Etwaige Strandlinien würden durch die vielen Faktoren, die hier ausgleichend an der Umformung der Bodengestalt gearbeitet haben, namentlich durch die Vegetation und die Kultur, längst wieder verschwunden sein. Auffallenderweise zeigen sich gleichwohl ähnliche Terrassenbildungen wie bei Seeshaupt auch auf der Ostseite des Sees bei St. Heinrich und Ambach. Weiter aber läßt sich die entsprechende Uferform

Digitized by Google

nicht mehr mit Sicherheit verfolgen. Sie wird nur hier und da noch angedeutet. So liegen auf der ganzen Westseite viele der Wohnhäuser gerade in einer der alten Uferlinie entsprechenden Höhe, woraus man auf das Vorhandensein einer ursprünglichen Terrasse wohl schließen könnte. Am steilen Ostufer war die Bildung einer bleibenden Strandlinie überhaupt unmöglich. In Ammerland finden sich jedoch nahe dem See deltaartige Aufschüttungen in dem Thaleinschnitt südlich vom Schloß, dessen oberer Rand ebenfalls etwa 10 m hoch liegen dürfte.

Einzelne von den thatsächlich in einer Höhe von etwa 10 m auftretenden Terrassen des westlichen Ufers sind jedoch ohne Zweifel keine Strandbildungen, sondern gehören zu den Eigentümlichkeiten des Geländes überhaupt, das eben in mehreren hintereinanderfolgenden Stufen aufsteigt. Die Terrassen treten zuweilen mit einer gerade-

Terrasse bei Ober-Pöcking.

Länge 1 : 12 500
Höhe 1 : 4000.

zu überraschenden Regelmäßigkeit auf. Eine Terrasse gleicht dabei so der folgenden, daß nur die Höhenlage einen Unterschied bildet. Charakteristisch für diese überall auffallende Geländeform ist es, daß sie nach der höheren Stufe hin meist sanft abfällt; der höchste Punkt der Stufe liegt also nahe dem Steilabfall zum See, während der Boden bis zur folgenden höheren Stufe eine flache Mulde bildet. Diese ist häufig mit Wasser oder Moor ausgefüllt. Vorzügliche Beispiele hierfür finden sich in der Gegend von Pöcking, wie das beigefügte Profil zeigt, und namentlich südwestlich von Bernried etwa in der Richtung Seeseiten—Jenhausen. In dieser Gegend ist auch das beistehende Bild aufgenommen, das, mehr als Worte es könnten, die ganze Eigenart dieser Bodenform veranschaulicht.

Die Terrassen verlaufen gewöhnlich dem Ufer des Sees parallel, sie haben aber in dieser vorwiegend nordsüdlichen Richtung im allgemeinen keine große Ausdehnung; sie fallen häufig nach Norden steil, nach Süden allmählich ab, sodaß die nordsüdlich aufeinander-

Digitized by Google

Oppenried. *Ein Drumlin.*

Moränenterrasse, südlich von Jenhausen.

Digitized by Google

Digitized by Google

folgenden Terrassen einer schief gelegten Treppe gleichen, wie es allerdings sehr schematisch unsere Zeichnung darstellen soll.

An einzelnen Stellen sind die Moränenwälle in langgestreckte Hügel aufgelöst. Das ist namentlich der Fall im Südwesten des Sees, westlich von Seeshaupt, wo wir eine echte Drumlinslandschaft antreffen, wie sie typischer kaum gefunden werden kann. Das umstehende Bild giebt vielleicht unter Beachtung der folgenden Schilderung eine richtige Vorstellung von dieser Hügellandschaft.

Auf diese haben bereits Rob. Sieger und Joh. Früh an anderer Stelle die Aufmerksamkeit gelenkt.[2] Früh giebt in seinem Aufsatz „Die Drumlinslandschaft mit spezieller Berücksichtigung des alpinen Vorlandes" von ihr eine treffende Schilderung: „Überall die linsenförmigen bis langgestreckten „Schweinsrücken", deren Zwischenraum von sanften Hohlformen eingenommen wird mit Teichen, Seen, Hoch- und Flachmooren oder meliorierten Sumpfwiesen. Der strenge Parallelismus der Einzelformen ist frappant. Ihre Ausbildung ist oft so zart, daß die Karte 1:25000 nicht genügt, um den Eindruck des

Schematische Darstellung der Terrassen in der Nord-Südrichtung.

Strömens und Fließens voll zum Ausdruck zu bringen, den man im Felde sofort bekommt, namentlich durch die vielen sich gegen die innere Endmoräne sanft verflachenden, verlaufenden und zuspitzenden Enden der Drumlins." „Die Landschaft ist reizend. Zahlreiche asymetrische Formen mit steilerem Gehänge auf den den Endmoränen abgewandten Seiten der Drumlins lassen sich schon auf der Karte erkennen, besser im Felde, und die vielfach und zart nach NW gelappten Isohypsen drücken die fließende Bewegung aus, welche das Ganze beherrscht."

Man erkennt aus dieser Schilderung sofort, daß wir es hier thatsächlich mit einem charakteristischen Beispiel jener Form der Grundmoränenlandschaft zu thun haben, die von schottischen und amerikanischen Geologen als Drumlinslandschaft bezeichnet worden ist. Ein Blick auf die umstehende Karte, die ein Ausschnitt aus dem bayerischen Positionsblatt Eberfing (No. 791) ist, wird uns in dieser Erkenntnis noch bestärken.

Früh hat auch die Größe der einzelnen Drums bestimmt und für die Längenachse 275—1025, für die Breite 69—450 m erhalten. Als Mittel ergab sich für die Länge rund 700 m, für die Breite 170 m. Die relative Höhe erreicht vereinzelt über 30 m, bleibt aber

Digitized by Google

im Mittel noch unter 20 m. Diese Mittelwerte sind allerdings aus sehr mannigfaltigen Formen gewonnen, wie schon die beigefügte Karte zeigt. Es finden sich darauf alle Abstufungen vom ganz langgestreckten Rücken bis zu fast runden Hügeln, die aber alle voll-

Karte der Drumlinslandschaft.
1 : 25000.

kommen gleichsinnig orientiert sind, wodurch der auffallende Parallelismus in den orographischen Linien bewirkt wird. Das Gelände gleicht einem mit Riesenfurchen durchzogenen Felde.

Wir werden im geologischen Teile unserer Abhandlung uns noch einmal mit dieser eigenartigen Landschaft beschäftigen. Hier möchten wir auch auf die orohydrographische Karte unseres Atlas (Taf. IV)

Digitized by Google

Drumlinslandschaft bei Kronleiten westlich von Seeshaupt.

Digitized by Google

Digitized by Google

verweisen, die ebenfalls die seltsamen Bodenformen westlich von Seeshaupt gut zum Ausdrucke bringt.

Die Richtung der Drumlinsreihen sowie der einzelnen Drumlins selbst weicht von der der Terrassen westlich des nördlichen Sees erheblich ab. Hier herrscht die Richtung SO—NW vor, während die nördlichen Terrassen parallel dem westlichen Seeufer von SW nach NO verlaufen. Es entspricht diesem Wechsel der Richtung auch die Form des Sees. Das Ufer nimmt vom Karpfenwinkel an mehr die Richtung der Drumlins an, die vereinzelt bereits bei Bernried auftreten.

Auch die Hochfläche östlich des Sees ist von zahlreichen Moränenhügeln bedeckt; aber sie verlaufen hier in eintönigeren Formen, entweder als langgestreckte Rücken in nordsüdlicher Richtung oder in breiten Kuppen ohne ausgesprochene Längserstreckung. Zuweilen haben auch sie einen steilen Abfall nach dem See hin und gleichen dann ganz den Bodenformen jenseits des Sees, treten also auch als Terrassen aus dem Gelände hervor.

Die Erhebung des Uferlandes östlich und westlich des Sees über den Wasserspiegel ist nahezu die gleiche. Dieser liegt nach den Angaben auf den neuen bayerischen Meßtischblättern 584 m über NN. Die höchste Erhebung im Westen, bei Oberzeismering, erreicht 729 m, die im Osten, bei Happerg, 718 m. Von dort aus senkt sich der Boden nach Norden und Süden auf beiden Seiten des Sees allmählich. In der Umgebung Starnbergs ebenso wie östlich von Percha finden wir nur Höhen von 650 und 690 m.

Der Seespiegel liegt im allgemeinen 100 m tiefer als das umgebende Land.

Zufluß und Abfluß.

Infolge der Bodengestalt zu beiden Seiten des Sees hat das zu diesem abfallende Gelände nur eine sehr geringe Breite. Im Osten liegt die Wasserscheide oft nur 2 km weit vom Ufer entfernt. Im Westen tritt sie an einzelnen Stellen etwas weiter zurück, aber doch kaum auf 5 km. Der See bildet also mit seinem Zuflußgebiete nur eine schmale Thalsenke von noch nicht 10 km Breite.

Das Zuflußgebiet ist daher sehr klein. Es reicht auch oberhalb des Sees nicht weit. Die allerdings wenig deutliche Wasserscheide liegt etwa 10 km vom Südende entfernt. Dabei erweitert sich das Zuflußgebiet keineswegs nach Süden, sondern besitzt auch hier nur eine Breite von etwa 8 km. Nach der planimetrischen Vermessung ergiebt sich für den See nur eine Entwässerungsfläche von 240 qkm bei einer größten Länge von 30 km. Das gesamte Gebiet des Sees,

Digitized by Google

die Wasserfläche eingeschlossen, mißt rund 300 qkm. Das ist eine so kleine Fläche, daß es fast rätselhaft erscheinen muß, wie sich in dieser die große Wassermasse des Würmsees ansammeln kann.

Die Erklärung dafür geben in erster Linie die klimatischen Verhältnisse. Der See liegt innerhalb eines niederschlagsreichen Gebietes. Die Regenhöhe steigt im Jahre auf rund 1 m an. Es fällt also alljährlich eine Wassermenge von etwa 300 Mill. cbm auf das Seegebiet nieder. Diese Menge dürfte unter günstigen Verhältnissen wohl ausreichen, um die Seewanne stets gefüllt zu erhalten, d. h. also um den Verlust durch Abfluß und Verdunstung immer wieder zu ersetzen; sie stellt einen sekundlichen Zufluß von etwa 9 cbm dar.

Für schnellen und reichlichen Abfluß des Regenwassers sind die Bedingungen in der Seeumgebung äußerst günstig. Das Gebiet ist zunächst reich an Mooren, die gleichsam als Wasserreservoire betrachtet werden müssen. Außerhalb der Moore besteht das Land vielfach aus einem ganz undurchlässigen Boden, der stark geneigt ist. Hier fließt das Wasser bei Regen schnell ab und den tiefsten Stellen des Landes zu, die eben von Mooren und kleinen Seen ausgefüllt sind.

Auch die Verdunstung im Bereiche des Sees ist vermutlich sehr gering. Man kann darauf schließen aus der großen Feuchtigkeit, die selbst in trockenen Sommern hier überall herrscht, ferner aus der üppigen Wald- und Wiesenvegetation. Nur auf der Seefläche selbst dürfte eine größere Verdunstung vorhanden sein. Messungen darüber liegen leider nicht vor. Es ist jedoch anzunehmen, daß auch sie nicht sehr groß ist, weil sonst der Abfluß sich namentlich in trockenen Sommermonaten erheblich vermindern müßte, was nach den Wasserstandsbeobachtungen nicht der Fall ist.

Daß der Regen thatsächlich die Hauptwassermenge liefert, geht zweifellos daraus hervor, daß viele der kleinen Zuflüsse in regenarmen Zeiten ganz versiegen, in regenreichen aber zu rauschenden Wildbächen sich umwandeln. Auch die Schwankungen des Seespiegels geben einen Beweis dafür. In nassen Jahren wie 1896 steigt das Wasser, in trockenen wie 1894 und 1899 fällt es umgekehrt bedeutend. Zwischen Niederschlag und Wasserstand bestehen die engsten Beziehungen, was wir später noch ausführlicher beweisen wollen. Es ist darum der See gewissermaßen als ein unmittelbares Sammelbecken des Regenwassers aufzufassen, während andere Seen, wie Boden- und Genfer See, vorwiegend von Flußwasser gespeist, also erst mittelbar vom Regenwasser gefüllt werden.

Daß der See außerdem noch durch unterirdische Zusickerung erhebliche Wassermengen erhält, ist sehr unwahrscheinlich. Der

Digitized by Google

Träger des Grundwassers ist in der Moränenlandschaft im allgemeinen das oberste Gletschermaterial selbst. Da dieses nun den Boden fast überall überkleidet, so ist eine starke Einsickerung des Regenwassers hier ausgeschlossen. Das häufige Vorkommen von Teichen und Mooren spricht gleichfalls gegen ein starkes Versiegen des Wassers in den Untergrund. Auch wo Schotter und Kiese die oberste Decke bilden, dürften die eindringenden Wasser nur den vorhandenen Quellen und Bächen zur Nahrung dienen. Denn auch der nächste undurchlässige Horizont, das ist die Oberfläche des Tertiärs, liegt noch oberhalb des Seespiegels. Quellen bei Leutstetten, Starnberg und Percha deuten die Höhenlage des Tertiärs an, das außerdem auch noch an mehreren Stellen aufgeschlossen ist.

Einen weiteren, durchaus zwingenden Beweis für das Fehlen einer größeren unterirdischen Wasserzufuhr liefert uns auch der Betrag der Abflußmenge des Sees. Diese erreicht nach A. Thiem für die Zeit von 1851—76 im Mittel rund 4,5 cbm pro Sekunde.[3] Das ist genau 50 % des oben berechneten sekundlichen Zuflusses, also ein Wert, der durchaus normal erscheint, da unter den allgemeinen klimatischen Verhältnissen am Würmsee nur etwa 50 % des Niederschlages im Haushalt der Natur aufgebraucht werden dürften.

Die Kleinheit des Zuflussgebietes giebt der Entwicklung grösserer Gewässer keinen Raum. Diese fehlen in der Seeumgebung vollständig, wie auch unsere orohydrographische Übersichtskarte lehrt.

Den größten Zufluß erhält der See im Süden, wo den ausgedehnten Filzen und zahlreichen Seen mehrere Bäche entströmen, die sich zum Teile zu einem größeren Gewässer, der Ache, vereinigen, die östlich Seeshaupt bei der Mühle mündet. Die Ache stellt hauptsächlich den Abfluß der Seen, also auch des Ostersees, dar. Diesem fließt von Süden her ein größeres Gewässer, der Steinbach, zu, den man als den Hauptquellbach des Würmsees bezeichnen könnte, da er am weitesten nach Süden sich erstreckt.

Aus den Filzen am Südende, südlich St. Heinrich, strömen dem See noch zwei weitere Gewässer, der Bodenbach und der Singerbach, zu, von denen der letztere bereits in den östlichen Anhöhen seinen Ursprung nimmt.

Das östliche Ufergelände ist im übrigen sehr arm an Bächen. Nur zwischen St. Heinrich und Ammerland ergießen sich einige ganz unansehnliche, meist namenlose Gewässer in den See. Der längste von ihnen misst kaum 2 km. Erst am Nordende bei Percha finden wir wieder einen größeren Zufluß, den Kellerbach, der auf der Hochfläche südlich Münsing entspringt und das Wasser der zahlreichen Moore auf dieser aufsammelt.

Digitized by Google

Zahlreicher und bedeutender sind dagegen die Zuflüsse auf dem westlichen Ufergelände, namentlich vom Karpfenwinkel an nordwärts. Die meisten entspringen auf den mit Mooren und Seen erfüllten Terrassen; sie sind die Abflüsse dieser Wasserreservoire und führen daher zum größten Teile das ganze Jahr hindurch Wasser. Ihre Betten sind vielfach tief in das Land eingeschnitten, wodurch die Bodenformen hier noch an Mannigfaltigkeit gewinnen. Ihre Schluchten durchschneiden oft senkrecht die Terrassen, sodaß das Wasser auf dem kürzesten Wege unter starkem Gefälle dem See zugeführt wird. Bei reichlichen Niederschlägen wandeln sie sich zuweilen in reißende Wildbäche um, die trotz ihres kurzen Laufes starke Verwüstungen, wahre Murgänge, hervorrufen.

Unter diesen westlichen Zuflüssen sind die bedeutendsten der Röthl-Bach, der im Karpfenwinkel mündet und der Abfluß der zahlreichen kleinen Seen westlich Bernried ist, dann bei Tutzing die tiefeingeschnittenen Bäche in dem Martels-, dem Bareisl- und dem Kalk-Graben, weiter bei Possenhofen der Starzenbach, im wesentlichen der Abfluss des Deixlfurter Sees, und endlich bei Starnberg der wasserreiche Maisinger Bach, nach der Ache im Süden wohl der bedeutendste Zufluß.

Die nördlichsten Zuflüsse, der Starzen- und Maisingerbach im Westen wie der Kellerbach im Osten, schmiegen sich in ihrem Verlauf ganz den allgemeinen Geländeformen an; wir können ihre Thäler als Längsthäler bezeichnen, denn sie folgen fast bis zur Mündung der Richtung der Moränenwälle. Die Gewässer südlich Possenhofen durchschneiden diese dagegen fast senkrecht, sie bilden vorwiegend Querthäler. Solche finden wir auch auf der Ostseite des Sees, wo nur der bei Ambach mündende Grenzgraben ein Längsthal durchfließt.

Der Ueberschuß an Wasser findet seinen Abfluß in der Würm, die östlich Starnberg aus dem See austritt und in einem tief eingeschnittenen Thale den nördlichen Moränenwall durchfliesst. Sie ist ein ziemlich wasserreicher Fluß, der nach den Angaben Thiems 4,4 cbm Wasser in der Sekunde führt.

Da diese Wassermenge 50 % des Zuflusses ausmacht, so erscheint sie, wie wir gesehen haben, durchaus normal. Daß der See ausserdem noch unterirdisch einen Teil seines Wassers verliere, ist, nach der Beschaffenheit des Bodens in der Seeumgebung zu urteilen, sehr unwahrscheinlich. Einmal deutet das große Moor am Nordende des Sees eher auf eine Stauung des Wassers im Boden noch über das Niveau des Sees hinaus. Sodann ist das Seebecken ganz in das undurchlässige Material des Flinzes eingebettet. Die unterirdische Ab-

Digitized by Google

sickerung könnte höchstens in einem von Schotter ausgefüllten, später von den Moränen überdeckten Thale vor sich gehen. Dafür liegen aber vorläufig keine Beweise vor. Ausserdem würde der undurchlässige Moränenschutt vermutlich auch diesen Schotterkanal gegen den See hin abschließen.

Nach alledem erscheint der See als eine Wasseransammlung in dem tiefsten Teile einer langgestreckten Bodensenke. Das Wasser selbst entstammt in erster Linie unmittelbar dem Niederschlage. Die Höhe des Seespiegels hängt daher namentlich von der Menge sowie zeitlichen Verteilung dieses ab; sie wird aber auch durch die Höhe der Abflußrinne bestimmt. Diese hat sich zweifellos seit der Entstehung des Sees stetig vertieft und dadurch eine allmälige Senkung des Seespiegels bewirkt.

Litteratur.

[1] A. Penck, Das deutsche Reich. (Unser Wissen von der Erde II, 2.) Prag, Leipzig 1886.

[2] Rob. Sieger, Zur Entstehungsgeschichte u. s. w. S. a. a. O. — Joh. Früh, Die Drumlinslandschaft u. s. w. S. a. a. O.

[3] A. Thiem, Die Wasserversorgung u. s. w. S. a. a. O.

Die Gestalt des Seebeckens.

Die Gestalt des Würmseebeckens ist bisher, soweit unsere Kenntnisse reichen, erst einmal von Geistbeck in ausführlicher Weise ermittelt worden.[1] Allein diesem Forscher lag nur daran, die allgemeine Form des Beckens festzustellen. Infolgedessen begnügte er sich mit einigen orientierenden Messungen, die ihm für seine Zwecke auszureichen schienen. Im ganzen hat er 220 Lotungen ausgeführt, die sich ziemlich ungleich auf 12 Profile verteilen. Diese Zahl genügt freilich den Anforderungen, die wir heute bei Auslotung eines Sees zu stellen berechtigt sind, nicht mehr.

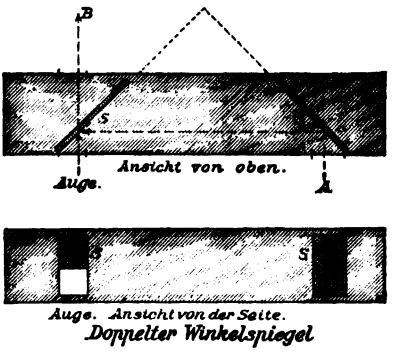
Eine abermalige Vermessung des Sees erschien dem Verfasser darum durchaus geboten; sie ist mit größter Sorgfalt im Herbst 1894 durchgeführt worden. Da die Zuverlässigkeit der Resultate von dem Verfahren der Messung abhängig ist, so soll dieses hier eingehend beschrieben werden. Wir beabsichtigen damit zugleich denjenigen Geographen oder Geologen, die solche Messungen ausführen wollen, eine Anleitung zu geben. Unsere Ausführungen sollen weiter auch die wertvollen Darstellungen Richters über Lotungsmethoden, die dieser verdiente Limnologe in seinen bekannten „Seestudien“ (Geogr. Abhandl. v. Penck, Bd. VI, Heft 2) giebt, ergänzen.

Digitized by Google

Methode der Lotungen.

Die Auslotung begann damit, daß zunächst in die Karte vom Würmsee in annähernd gleichen Abständen die ungefähre Richtung der auszulotenden Profile eingezeichnet wurde. Diese wurden möglichst so angelegt, dass sie senkrecht die Richtung der Ufer trafen. Da der See eine ausgesprochene nordsüdliche Längserstreckung besitzt, so verliefen die geplanten Profillinien im allgemeinen westöstlich.

Bei der Messung sollten diese Linien möglichst genau befahren werden. Es konnte das am einfachsten in der Weise geschehen, daß an dem einen Ufer 2 über den ganzen See hin sichtbare Signale in der zu fahrenden Richtung fixiert wurden. Unter steter Visierung nach diesen Signalen bot das Einhalten der Fahrrichtung dann keine Schwierigkeit. So einfach nun dieses Verfahren auch erscheint, so



Doppelter Winkelspiegel

konnte es praktisch doch nur vereinzelt angewendet werden. Der Grund dafür liegt für den, der den See kennt, auf der Hand. Die Ufer des Sees sind fast überall bewaldet und außerdem noch meist in Privatbesitz; infolgedessen war die Anbringung von Signalen oft ausgeschlossen. Nur wenn von der Natur oder durch Menschenhand zufällig derartige Merkmale gegeben waren, wurden sie gern benutzt, da auf diese Art ein genaues Befahren der Profillinie zweifellos am leichtesten möglich ist.

In den meisten Fällen wurde die Fahrrichtung innegehalten mit Hilfe eines sogenannten doppelten Winkelspiegels, eines Instrumentes, das dem Seenforscher außerordentlich gute Dienste zu leisten vermag, etwa die gleichen Dienste wie der einfache Winkelspiegel dem Geometer auf dem Lande. Das Wesen des doppelten Winkelspiegels besteht darin, daß man durch zwei senkrecht zu einander gerichtete Spiegel *(S)* ein Bild von einem hinter dem Beobachter liegenden

Digitized by Google

Gegenstand *(A)* bekommt, während man gleichzeitig die Landschaft vor dem Beobachter übersehen, also einen Gegenstand *(B)* vor sich anvisieren kann. Der Beobachter befindet sich stets auf der geraden Verbindungslinie zwischen dem Gegenstand *(B)* vor sich und dem hinter sich *(A)*, wenn dessen Spiegelbild in die gleiche Richtung fällt, wie der Gegenstand vor dem Beobachter. Vorausgesetzt ist dabei, daß die Spiegelebenen genau senkrecht zu einander stehen, was durch Prüfungen zuvor festzustellen ist.

Statt der Spiegel hat man auch Prismen angewendet; allein auf dem Wasser sind diese nicht so gut brauchbar wie auf dem Lande, weil hier die spiegelnde und glitzernde Wasserfläche das Beobachten erschwert.

Für die Benutzung des Winkelspiegels war freilich erforderlich, daß die beiden Endpunkte der Profillinie ebenfalls genau durch über den ganzen See hin sichtbare Signale markiert wurden. Am Würmsee konnte diese Forderung im allgemeinen dadurch leicht erfüllt werden, daß die zahlreichen Ortschaften und Villen schon an sich genug Punkte boten, welche für die Fixierung der Fahrt verwendet werden konnten. Bei der vorausgegangenen Einzeichnung der Profillinien in die Karte wurde darauf bereits Rücksicht genommen. Die örtlichen Verhältnisse am See machten freilich oft Änderungen nötig; aber im allgemeinen konnten doch die Fahrten nach dem zuvor entworfenen Plane ausgeführt werden. Wo in der Reihe der Profile größere Lücken auftreten, waren geeignete Signale nicht zu finden. Anfangs- und Endstelle jedes Profiles sowie die Fahrrichtung selbst wurden an Ort und Stelle noch sorgfältig vermessen, um sie nachher genau in die Karte eintragen zu können. Die Vermessung erfolgte mit einer Bussole mit Visiervorrichtung, z. T. auch mit einem kleinen Theodoliten, welcher dem Verfasser von Prof. Finsterwalder in München bereitwilligst dazu geliehen war.

Die Vorausbestimmung der auszulotenden Profile geschah mit besonderer Absicht. Es sollte dadurch die Auslotung möglichst von jeder subjektiven Willkür frei bleiben. Man neigt leicht dazu, die Lotungen der bisherigen Kenntnis der Tiefenverhältnisse entsprechend, also nach vorgefaßter Meinung, anzulegen. Das halten wir nicht für richtig, da auf diese Weise die einzelnen Gebiete eines Sees oft ganz ungleichmäßig vermessen werden. In der kartographischen Verarbeitung werden aber dann die Tiefenlinien durch den ganzen See durchgeführt, ohne daß deutlich hervortritt, wo zahlreichere Messungen vorliegen und wo nicht. Eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Lotungen über den ganzen See giebt sicher ein viel objektiveres und darum weit richtigeres Bild.

Digitized by Google

Nach solchen Grundsätzen sind die Profile in den Würmsee aufgenommen worden. Erst nachdem diese Vermessungen durchgeführt und auch kartographisch verwertet waren, wurden noch zur Kontrolle sowie zur Ergänzung einige weitere Profile abgelotet. Diese Messungen sind im Herbst 1896 und 1899 ausgeführt.

Von einer besonders sorgfältigen Aufnahme der Gestalt des Seebeckens nahe am Ufer, wie sie Richter fordert, wurde aus mehrfachen Gründen abgesehen. Einmal stellten sich dem rein praktische Schwierigkeiten in den Weg. Die Ufer sind vielfach garnicht zugänglich, weil sie im Privatbesitz sind, und zuweilen sogar künstlich gebaut. Sodann waren für Richter Erfahrungen an alpinen Seen maßgebend. Bei diesen liegen aber ganz andere Formen vor, als wir sie am Starnberger See treffen. Es sind Seen mit einem steilen Abfalle zur Tiefe nahe dem Ufer und einer breiten Bodenfläche, einem sogenannten Schweb. Im Würmsee ist die Form des Beckens eine wesentlich andere, wie wir im folgenden sehen werden. Der steile Abfall liegt oft sehr fern vom Ufer und wiederholt sich zuweilen. Hier hätten also mehrmalige besondere Messungen vorgenommen werden müssen, die einen großen Aufwand an Zeit und Arbeitskräften erfordert hätten, nach unserem Dafürhalten mehr als das Ergebnis wert sein würde.

Große Sorgfalt wurde dagegen auf die genaue Festlegung der Lotungsstellen innerhalb der einzelnen Profile verwandt. Die Abstände wurden nach Zeit bestimmt. Im allgemeinen wurde immer nach 2 Min. gelotet. Dieses Verfahren ist von anderer Seite beanstandet worden[2]; allein die Erfahrungen, die der Verfasser gemacht hat, berechtigen ihn vollständig, es für durchaus zuverlässig zu erklären. Ihm erscheint es auch praktischer als das Abmessen nach Ruderschlägen. Einmal fällt das lästige Zählen fort, bei dem leicht Fehler sich einschleichen. Dann ist Anfang und Ende der Bootbewegung viel schärfer markiert. Doch soll damit nicht gesagt sein, daß das Zählen der Ruderschläge nicht auch zu guten Resultaten führen könnte. Wir glauben, daß hierbei die individuelle Neigung des Forschers eine grosse Rolle spielt, die auch bei einer Reihe anderer limnologischer Messungsverfahren sich geltend macht, woraus sich am einfachsten die widersprechenden Urteile über ihre Brauchbarkeit erklären würden.

Schwierigkeit bereitet bei diesem Verfahren das richtige Einhalten der Zeitintervalle. Am Starnberger See wurde diese dadurch überwunden, daß bei jeder Fahrt zu Beginn der Bewegung des Bootes bereits die Zeit notiert wurde, zu welcher die nächste Lotung vorgenommen werden mußte.

Digitized by Google

Man könnte für diese Zeitbestimmungen auch recht zweckmäßig Sanduhren anwenden.

Sollen die Ortsbestimmungen nach Zeit — oder auch nach Ruderschlägen — aber ganz sichere Resultate liefern, so muß die Lotung auch stets an der Stelle vorgenommen werden, wo das Boot sich nach Ablauf der Zeit befindet. Das ist im allgemeinen nach den Erfahrungen des Verfassers auch zu erreichen. Man muß das Lot wirklich in diesem Augenblicke fallen lassen. Vermeidet man dann durch schnelles Nachlassen der Leine sorgfältig ein seitliches Ziehen, so fällt das Lot nach dem Gesetze der Schwere dort zum Seegrunde nieder, wo es eingesetzt war. Daß es durch Strömungen fortgerissen wird, ist ausgeschlossen; Strömungen von solcher Kraft sind in den Binnenseen im allgemeinen nicht vorhanden. Auf dem Grunde verankert das Lot sich bei geeigneter Konstruktion fest genug, um einem schwachen Zuge Widerstand zu leisten. Fährt man nun mit dem Boote unter vorsichtigem Aufrollen der Leine soweit zurück, bis die Leine senkrecht steht, so ist der Ort der Lotung erreicht, die Messung kann ausgeführt und das Lot wieder aufgezogen werden. Während des Aufziehens verändert das Boot seine Lage auch bei Wind nur wenig, weil das Lot auch dann noch als Anker wirkt.

Wir haben dieses Verfahren ausführlicher beschrieben, weil von anderen Seeforschern immer wieder die Schwierigkeit des genauen Einhaltens der Lotstelle betont wird. Auf die obige Weise des Lotens wird eine solche aber völlig gehoben. Jedenfalls ist das Verfahren zuverlässiger als die Festlegung der Lotstelle mittels kleiner Papierschnitzel. Verfasser hat oft unter fester Verankerung auf Seen Messungen vorgenommen. Dabei hat er wiederholt die Beobachtung gemacht, daß selbst bei schwachem Winde kleine schwimmende Gegenstände schnell abgetrieben werden. Daraufhin hat er direkt mit ausgeworfenen Papierschnitzeln Versuche gemacht. Sie bewegten sich überraschend schnell vorwärts. Auch ein anderer Versuch, die Lotstelle durch Einsetzen einer kleinen Holzkugel, die etwa 20 cm unter der Oberfläche schwamm, aber durch einen Faden mit einem auf der Oberfläche schwimmenden Korke verbunden war, zu markieren, mißlang durchaus, ebenso die Versuche mit kleinen Röhren, die soweit ins Wasser eintauchten, daß sie nur mit dem Korke hervorragten. Sie trieben sämtlich ziemlich rasch von dem verankerten Boote fort. Es bestehen vermutlich in jedem See leichte Strömungen, deren Nachweis für den Würmsee, wie wir später sehen werden, uns auch gelungen ist. Die Möglichkeit des Festlegens der Lotstelle durch ausgeworfene Papierschnitzel ist daher nicht vorhanden. Daß sie solange angenommen wurde, beruht auf einer

Digitized by Google

Täuschung, die leicht erklärlich ist. Das Boot treibt nämlich gleichzeitig mit dem Papiere fort, so daß dieses scheinbar zu ruhen scheint. Auch ist die Bewegung oft sehr langsam, sodaß sie dem Beobachter entgeht.

Allein die Ortsbestimmungen nach Zeit oder Ruderschlägen bedürfen doch auch noch einer weiteren Kontrolle, namentlich bei längeren Fahrten, zu denen die auf dem Würmsee, die oft mehrere Stunden dauerten, schon zu rechnen sind.

Zu dieser Kontrolle kann mit außerordentlich gutem Erfolge wieder der doppelte Winkelspiegel Verwendung finden. Man beobachtet mit diesem das Durchschneiden der Fahrrichtung mit anderen Richtungen, d. h. man stellt fest, wann das Boot auf der Fahrt in die Richtung zweier anderer am Ufer gut erkennbarer und sicher markierter Punkte kommt. Die Notierung lautet dann z. B.: für den Würmsee auf der Fahrt Bernried — Schl. Ammerland nach der 6. Lotung „Richtung St. Heinrich-Kirche Tutzing". Bei der Verarbeitung thun solche Einvisierungen gute Dienste. Im allgemeinen zeigte es sich aber dabei auch, daß die nach der Zeit ermittelten Lagen der Lotungsstellen durchaus zuverlässig waren, d. h. daß die schneidenden Richtungen auch genau die Fahrrichtung an dem Punkte trafen, wo sie nach der Messung in der Natur diese treffen mußten.

Daß unser Verfahren gute Resultate liefert, dafür glauben wir noch folgende Thatsache als Beweis anführen zu können. Ein Vergleich der einzelnen Lotungsabstände auf den verschiedenen Fahrten ergab, daß bei gleichen Witterungsverhältnissen und bei Bedienung durch denselben Ruderer die Längen annähernd die gleichen waren. Sie wichen in den meisten Fällen noch nicht um 10 m von einander ab. Von 25 Fahrten mit demselben Ruderer hatten die Lotungsabstände 12 mal eine Länge zwischen 165 und 175 m, 17 mal eine solche zwischen 160 und 180 m. Diese Gleichmäßigkeit würde nicht vorhanden sein können, wenn das Verfahren mit großen Fehlern behaftet wäre, da dann die Fehler namentlich bei längeren Strecken zur Geltung kommen müßten. Die Abstände zeigen aber im allgemeinen keine Abhängigkeit von der Länge der Fahrt. Nur Gegenwind und Wind in der Fahrrichtung riefen erheblichere Abweichungen hervor; Gegenwind verminderte die Länge auf 125 m.

Auch die letzte Aufgabe der Lotung, die Bestimmung der Tiefe, erfordert Sorgfalt. Als Leine darf nur Metalldraht verwendet werden. Eine Hanfleine ist nach den Erfahrungen des Verfassers nicht zulässig. Die mit einer solchen ausgeführten Lotungen sind immer unsicher, da die Leine im Wasser ihre Länge ändert. Es schützt

Digitized by Google

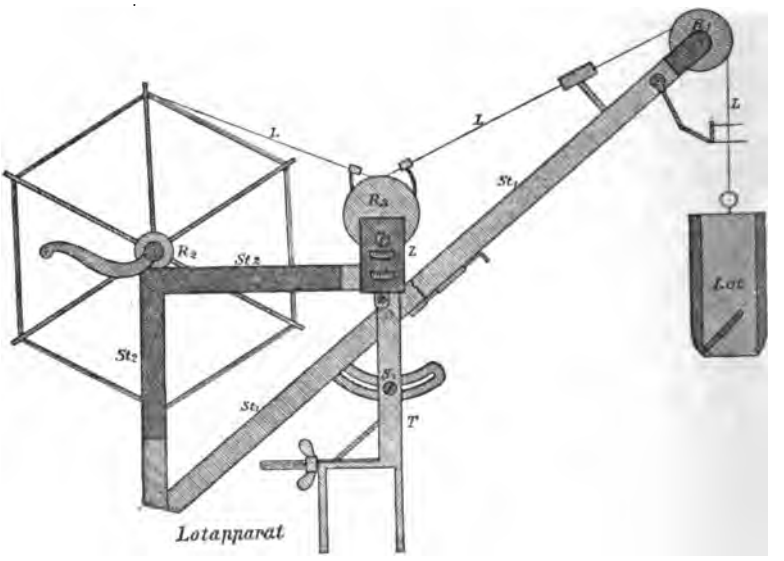
vor Ungenauigkeit auch nicht ein sorgfältiges Nachmessen der Leine nach der Lotung; denn die Veränderung im Wasser unter der Belastung ist eine ganz andere, als sie die durchnäßte Leine nachher zeigt. Bei geringen Tiefen dürfte der Fehler freilich geringfügig sein, bei großen Tiefen jedoch beachtenswerte Größen erlangen. Der Fehler wäre nur dadurch zu vermeiden, daß die Länge der abgerollten Leine nicht durch Marken an dieser bestimmt würde, sondern durch die Umdrehungen einer Rolle von bestimmtem Umfange, über die die Leine hinabgleitet. Allein auch da bieten sich Schwierigkeiten. So verändert sich die Länge der Hanfleine noch in dem Moment des Aufziehens, sodaß es schwer ist, zu bestimmen, ob die abgelaufene Strecke wirklich der gemessenen Tiefe entspricht. Überdies haftet einer solchen Leine auch der Mangel an, daß sie wegen ihrer Stärke dem Wasser mehr Widerstand bietet, wodurch seitliche Verschiebungen des fallenden Lotes leicht bewirkt werden können. Wir betonen die Unbrauchbarkeit von Hanfleinen, weil diese früher ausschließlich zur Verwendung kamen und auch von Geistbeck noch benutzt worden sind.

Bei den Messungen am Würmsee wurde vom Verfasser Stahldraht verwendet, zunächst eine dreidrähtige Litze, dann ein einzelner Stahldraht. Die Länge der abgerollten Leine wurde indirekt durch die Zahl der Umdrehungen der Rolle, auf welche die Leine aufgewickelt war, bestimmt. Die Rolle hat bei den vom Verfasser konstruierten Lotapparaten fast genau den Umfang von 1 m. Bei dieser Art der Messung stellt sich ein kleiner Fehler dadurch ein, daß durch das Übereinanderlegen des Drahtes der Umfang der Rolle größer wird. Die Grösse der Veränderung kann aber leicht durch Nachmessen auf dem Lande ermittelt werden. Sie erweist sich ziemlich konstant. Gleichwohl darf der Fehler nicht unbeachtet bleiben, weil er in größeren Tiefen über einen Meter erreicht. Sämtliche Lotungen im Würmsee sind nach der Lotung dementsprechend korrigiert worden. Später ist dieser Übelstand dadurch gehoben worden, daß in den Lotapparat eine zweite Rolle eingefügt wurde, welche einen bekannten Umfang hat und von der Stahlleine umlaufen wird. Sie giebt unmittelbar die Länge der abgerollten Leine.

Die Zuverlässigkeit der Messungen hängt auch etwas von der Konstruktion des Lotapparates ab. Dieser muß sich leicht und sicher handhaben lassen, da nur dann eine schnelle Ausführung der Lotung möglich ist. Vom Verfasser wurde ein Apparat benutzt, der solchen Anforderungen durchaus entsprach. Er besteht aus einem an den Bord des Fahrzeuges anschraubbaren eisernen Träger *(T)*, auf welchem eine Stange *(St_1)* aufgelegt ist, die in ihrer Lage durch eine Schraube

Digitized by Google

(S) fixiert werden kann. Die Stange endet nach der Seeseite hin gabelförmig; in diese Gabel ist eine Rolle *(R_1)* eingesetzt, die als Unterlage für die sich bewegende Leine *(L)*, als Gleitrolle, dient. An die Stange ist dann in der Mitte ein weiteres Gestänge *(St_2)* aufgesetzt, das die Seilrolle *(R_2)* trägt. Für die Bestimmung der Tiefe ist ein Zählwerk *(Z)* angebracht, das die Zahl der Umdrehungen einer zweiten Rolle *(R_3)* angiebt, um welche die Leine gleitet. Diese zweite Rolle hat einen Umfang von 20 cm, am Zählwerk ist die Länge von 10 cm noch unmittelbar ablesbar. Im allgemeinen genügt aber das bloße Zählen nach ganzen Metern. Denn Fehler von mehr als 0,5 m sind dabei ausgeschlossen und alle geringeren können



Lotapparat

unbeachtet bleiben. Es läuft fast auf Spielerei hinaus, die geloteten Tiefen womöglich in Centimetern anzugeben. Eine ganz geringe Neigung der Leine oder auch ein verschiedenes Einsinken des Lotes in den Untergrund bringt schon Fehler, die Centimeter und Decimeter übersteigen können. Wir haben uns daher mit der Angabe der Tiefen nach halben Metern begnügt. Für Höhen auf dem Lande pflegen wir ja auch die Maße meist nur in ganzen Metern anzugeben.

Das vom Verfasser benutzte Lot hat ebenfalls eine besondere Konstruktion erhalten. Es ist ein Stück Eisenrohr von etwa 10 cm Durchmesser, das zur Belastung mit einem Bleimantel umgeben ist. Nach unten ist das Rohr mit einem Klappventile versehen. Dieses

Digitized by Google

öffnet sich bei dem Niederfallen und ermöglicht somit ein schnelles Gleiten des Lotes durch das Wasser, was für die genaue Ortsbestimmung der Lotung nach den obigen Ausführungen nicht unwesentlich ist. Außerdem aber dringt das Lot infolge der schnellen Bewegung noch etwas in den Untergrund ein. Bei dem Hochziehen schließt sich das Ventil, ein Teil des Bodensatzes bleibt in dem Rohre zurück und gelangt nun zur Oberfläche. Das in den Boden eingesunkene Lot dient endlich ein wenig auch als Anker für das Boot, was ebenfalls für die Ortsbestimmung sowie für die Tiefenmessung wichtig ist.

Auf diese Weise wurde der Würmsee in 31 Profilen ausgelotet. Die Gesamtzahl der Lotungen betrug rund 570. Da die Seefläche 57 qkm umfaßt, so kommen gerade 10 Messungen auf 1 qkm, was bei dem zum großen Teile einförmigen Relief wohl ausreichend ist. Die Profile liegen durchschnittlich 500 bis 1000 m auseinander.

Im allgemeinen sind die Lotungen nur bei ruhigem Wetter ausgeführt. Die Lotungen wurden stets abgebrochen, wenn der Wind etwa die Stärke 4 erreichte. Dann ist das Halten des Bootes an der Lotstelle schon zu schwierig, um eine sichere Messung zu ermöglichen.

Daß die nach der angegebenen Methode und mit den beschriebenen Instrumenten ausgeführten Lotungen wirklich zuverlässige Resultate liefern, dafür gaben endlich auch noch diejenigen Messungen am Würmsee eine geeignete Kontrolle, welche nicht in der allgemeinen westöstlichen Richtung, sondern zum Teile quer dazu ausgeführt wurden. Diese reihen sich, wie unsere Lotungskarte zeigt, sehr gut in die anderen Messungen ein, was nicht der Fall sein könnte, wenn sie in ihrer Lage nicht ausreichend genau bestimmt und eingetragen wären.

Es bot sich aber außerdem durch Zufall noch eine weitere Gelegenheit die Lotungen zu prüfen. Im September 1896 sollte ein Profil in der Richtung der Kirche von Bernried nach Schloß Ammerland aufgenommen werden. Es trat jedoch an dem betreffenden Tage Wind ein und die Messung mußte nach der 8. Peilung abgebrochen werden. Sie wurde am anderen Tage wiederholt und es zeigte sich nun eine so auffallende Übereinstimmung der Lotungen, daß ein Zweifel an der Zuverlässigkeit des von uns angewandten Verfahrens kaum noch aufkommen dürfte. Es wurden nach einander gelotet:

am 1. Tag:	30,	47,	63,	72,	78,	81,	82,	82 m
am 2. Tag:	30,	47,	63,	74,	78,	81,	82,	82 m

Nur bei der 4. Lotung stellte sich ein Unterschied heraus, der sich aber dadurch vielleicht erklärt, daß diese Lotung gerade an die

Digitized by Google

Grenze der steilen Böschung fällt, wo selbst kleine horizontale Entfernungen schon größere Tiefenunterschiede ergeben können.

Zur Ergänzung der methodischen Ausführungen über unsere Lotungen bringen wir hier als ein Beispiel die bei einer Profilaufnahme gemachten Aufzeichnungen zum Abdruck. Wir wählen das Profil X:

Profil X.

Fahrt von Stelle südl. Ammerland nach Kapelle in Unterzeismering.

Visiert: Fahrrichtung 281,25°.
(mit Bussole, Missweisung 11,75°) Kirche von Bernried 239,50°.
Kirche von Oberzeismering 291,50°.

Am Ufer viel Geröll.

No. der Lotung.	Tiefe in m, gemessen in Abständen von 2 Minuten Fahrt.	korrigiert, auf Mittelwasser reduziert und auf 0,5 abgerundet.	Grundprobe.	Bemerkungen. Visierungen.
1	29,4	29,5	wenig Sand	Schwacher Westwind.
2	44,0	44,5	—	
3	49,0	49,5	wenig Sand	
4	47,8	48,5	viel Schlick	Rottmannshöhe — Kirche Seeshaupt.
5	46,0	57,0	wenig Sand	
6	49,5	50,0	Schlick	
7	49,7	50,5	—	
8	70,0	71,0	—	Kirche Bernried — Schloss Ammerland.
9	90,5	91,5	—	
10	92,8	94,0	wenigSand, Seeers	
11	95,1	96,0	"	
12	95,5	96,5	"	Nach 1¼ Min.: Abfahrtsstelle von Prof. VII — Schl. Ammerland.
13	95,8	97,0	"	Nach 1 Min.: Rottmannshöhe — Kirche Bernried.
14	94,0	95,0	—	
15	92,0	93,0	—	Reparatur am Apparat.
16	91,5	92,5	wenigSand, Seeers	
17	90,5	91,5	"	Nach ½ Min. Rottmannshöhe — Schloss Seeburg.
18	91,0	92,0	"	
19	91,3	92,5	"	
20	92,2	93,0	"	Nach 1⅝ Min.: Abfahrtsstelle von Prof. VIII — Rottmannshöhe.
21	92,5	93,5	"	
22	85,0	86,0	Sand	Nach 1¼ Min. Villa Ebers bei Tutzing — K. Bernried.
23	81,0	82,0	wenig Sand	
24	61,7	62,5	—	
25	47,5	48,0	—	Westwind stärker.
26	29,2	29,5	grauer Schlick	Nach 1¾ Min.: Kirche Bernried — Ufer Höhenried.
27	24,5	24,5	—	
28	23,0	23,0	—	
29	24,7	25,0	grauer Schlick	
30	25,5	25,5	"	
31	19,0	19,0	—	
32	13,2	13,0	—	
33	3,0	2,6	—	

Nach 2½ Min. Ufer erreicht. Feiner sandiger Grund.

Visiert: Fahrrichtung 101,00°.
Schloss Ammerland 82,00°.
Kirche bei Holzhausen 116,00°.

Digitized by Google

Die Zeichnung der Tiefenkarte.

Die ausgeführten Lotungen bildeten die Grundlage für die Zeichnung der Tiefenkarte.

In die Seefläche wurden zunächst die Profile eingezeichnet. Es wurde auch hier mit der peinlichsten Genauigkeit verfahren und die Abfahrts- und Ankunftsorte der Fahrlinien sorgfältig nach den Aufzeichnungen in die Karte eingetragen. Leider stellten sich dabei einige unvorhergesehene Schwierigkeiten ein. So stimmten die mit der Bussole gepeilten Richtungen nicht immer mit den thatsächlichen auf den vorhandenen Karten überein. Es konnte zuweilen bei der Eintragung am Ufer kein Punkt gefunden werden, der den Peilungen genau entsprach, oder es fielen auch die Ortsbestimmungen auf Grund der Peilungen nicht mit den übrigen Aufzeichnungen zusammen.

Die Ursache dieser Fehler lag einmal in der Unzulänglichkeit der Bussole. Diese reichte, da sie nur mit einfachen Dioptern versehen war, für die großen Entfernungen auf dem See nicht mehr aus. Außerdem hatte sie nur eine Teilung nach ganzen Graden Endlich ist die Magnetnadel für Messungen im Freien zu empfindlich. Ein leichter Wind bringt sie schon in Unruhe.

Weiter beruhen die Fehler auch auf einer geringen Ungenauigkeit der Karte, die durch die Dehnung des Papieres bei dem Drucke und im Gebrauche bewirkt wird. In derartigen zweifelhaften Fällen wurde eine Korrektur nach genauer Ortskenntnis und vielfach auch auf Grund nochmaliger Messungen vorgenommen. Bei einzelnen Profilen war die Eintragung auch ohne Berücksichtigung der Peilungen möglich, da die Abfahrts- und Ankunftsstellen unmittelbar auf der Karte wiedergefunden werden konnten. Wenn nur das eine der Profilenden sicher zu ermitteln war, diente die Peilung der Fahrrichtung zur Festlegung auch des anderen Endes. So gelang es, die Profile trotz der kleinen Fehler, welche die Peilungen ergeben hatten, mit einer Sicherheit einzutragen, die als vollkommen ausreichend bezeichnet werden muss. Die möglichen Ungenauigkeiten, die nur bei einzelnen Profilen vorhanden sind, dürften 20 m nicht erreichen.

Die Angaben über die Eintragung der Profile wurden wiederum absichtlich so ausführlich gegeben, damit es jederzeit möglich ist, die Lotungen zu kontrollieren und die Profile nach den Angaben in der Karte an Ort und Stelle selbst wiederzufinden. Der Mangel ausreichender Angaben macht sich auch bei nachträglichen ergänzenden Messungen sehr störend geltend. So vermochten wir nicht die Lotungen Geistbecks genau mit den neuen zu vergleichen, weil aus

Digitized by Google

der Karte nicht sicher genug die Lage der Profile zu entnehmen war. Wir stellen zur Ergänzung unserer obigen Ausführungen und der Karte hier noch einmal die Lotungsfahrten zusammen. Wo Abfahrts- oder Ankunftsstelle ohne jeden Zweifel unmittelbar auf der Karte aufzufinden sind, haben wir die Peilungsresultate mit dem Kompaß fortgelassen, bei den anderen Punkten dagegen nur soviele angegeben, wie zur genauen Ortsbestimmung erforderlich war. Der Konstruktion der Profillinien auf der Karte lag noch ein weit umfangreicheres Beobachtungsmaterial zu Grunde. Es standen für jede Ortsbestimmung meist 3—4 Peilungen zur Verfügung. Die Zahlen in der Tabelle bedeuten sämtlich Grade. Die Mißweisung der Magnetnadel ist zu 11,75° ermittelt.

Lage der Lotungsprofile.

Fahrt	von	nach	Richtung °.
I	Villa Schalleck bei Anried Haus im Bernrieder Park 18,50 Kirche Holzhausen 42,25	Badehaus bei St. Heinrich Kirche Seeshaupt 276,75 „ Bernried 336,25	106,00
II	Haus „Mandl am See“ Kirche Seeshaupt 255,5 „ Bernried 322,0	Seeseiten, Wirtshaus Kirche St. Heinrich 117,0 „ Schallenkam 76,0	277,55
III	Punkt nördl. Seeseiten Kirche Holzhausen 62,75 Haus im Bernrieder Park 44,50	Punkt südl. Ambach Kirche Seeshaupt 289,0 Bernrieder Schweig 283,5	99,75
IV	Punkt südl. Ambach Kirche Seeshaupt 290,0 „ Bernried 306,75	Bernrieder Schweig Landungsplatz von Fahrt V 82,0	277,25
V	Kirche Bernried	Villa „Riedel“ in Ambach	109,00
VI	Punkt in Ambach Kirche Seeshaupt 215,5	Kirche Bernried	273,25
VII	Badehaus in Höhenried	Kirche Holzhausen	97,75
VIII	Punkt nördl. Höhenried (Pferdewiese) Schloss Ammerland 63,0 Kirche Holzhausen 106,0	Punkt nördl. Ambach Kirche Bernried 246,0 „ Oberzeismering 296,0	92,50
IX	Punkt südl. der Höhenrieder Spitze Kirche Holzhausen 111,25 Schloss Ammerland 69,50	Punkt nördl. Ambach Kirche Bernried 246,5 „Vogelhäuschen“ in Tutzing 319,75	100,00
X	Punkt südl. Ammerland Kirche Bernried 239,50 „ Oberzeismering 291,50	Kapelle in Unterzeismering Kapelle Unterzeismering 275,50	281,25
XI	Punkt nördl. Unterzeismering Schloss Ammerland 89,00 Kirche Holzhausen 124,50	Villa in Ammerland Ilkahöhe 284 Schloss Garatshausen 324	101,70
XII	Johanneshöhe südl. Tutzing Kirche Münsing 99,50 „ Holzhausen 129,00	Ammerland Kirche Bernried 227,00 Vogelhäuschen in Tutzing 279,00	101,25
XIII	Villa in Ammerland Kirche Oberzeismering 270,25 „ Feldafing 342,00	Vogelhäuschen in Tutzing	283,30
XIV	Punkt nördl. Tutzing, Badehaus. (Wegen Nebels nicht näher bestimmt).	Punkt nördl. Ammerland Vogelhäuschen in Tutzing 280,00 Schloss Garatshausen 304,00	110,50
XV	Punkt nördl. Ammerland (850 Schritte nördl. XIV) Vogelhäuschen in Tutzing 268,0 Kirche Feldafing 337,50	Schloss Garatshausen	112,50
XVI	Punkt südl. Schloss Seeburg (Wegekreuzung) Kirche Feldafing 390,25	Punkt nördl. Garatshausen (Badehaus)	282,50
XVII	Punkt nördl. Garatshausen Rottmannshöhe 70 Kirche Oberallmannshausen 86,25	Kirche in Weipertshausen Schloss Garatshausen 272,50 Kirche Feldafing 326,50	106,00

Digitized by Google

Fahrt	von	nach	Richtung °
XVIII	Punkt südl. Schloss Seeburg (Badehaus) Kirche Feldafing 317,25 Schloss Garatshausen 259,00	Punkt nördl. Garatshausen . . . . . Kirche Oberallmannshausen 96,00 Schloss Seeleiten 92,75	284,25
XIX	Annenwörth bei Possenhofen (bei der Roseninsel) . . . . . . Schloss Seeburg 133,50 „ Berg 59,00	Schloss Seeleiten . . . . . . Roseninsel, Nordufer 294,00 Südufer 290,00	119,00
XX	Punkt südl. Leoni (300 Schritt nördl. XIX) . . . . . . Roseninsel, Nordufer 276,50 Südufer 272,75	Aussichtsterrasse im Park südlich Possenhofen . . . . . . Leoni 92,00 Rottmannshöhe 109,00	123,00
XXI	Schloss Possenhofen . . . . . . Kirche Aufkirchen 106,25 „ Oberallmannshausen 127,00	Leoni (250 Schr. südl. d. Dampfersteges) Kirche Feldafing 276,00	116,25
XXII	Südende des Parkes von Berg . . . Kirche Feldafing 268,00	Punkt nördl. Possenhofen (annähernd Kirche Ober-Pöcking) . . . Kirche Aufkirchen 120,25 Rottmannshöhe 145,25	295,50
XXIII	Insel bei Nieder-Pöcking . . . . . . Kirche Aufkirchen 131,75 Rottmannshöhe 160,00	Punkt im Park von Berg . . . . . . Kirche Ober-Pöcking 282,75 „ Starnberg (kath.) 358,00	115,50
XXIV	Punkt nördl. Berg (nördl. Restaurationsgitter) . . . . . . Kirche Starnberg 351,00 „ Ober-Pöcking 270,50	Punkt in Nieder-Pöcking . . . . . . Kirche Berg 135,5 „ Aufkirchen 145,50	299,00
XXV	Villa in Starnberg . . . . . . Kirche Berg 155,00 „ Aufkirchen 157,75	Nordende Wald nördl. Berg . . . . Kirche in Starnberg (kath.) 335,5	117,75
XXVI	Punkt bei Kempfenhausen . . . . . Kirche Starnberg, kath. 322,00 „ „ evang. 339,75	Villa in Starnberg . . . . . . Kirche Percha 77,25 „ Aufkirchen 168,00	301,75
XXVII	Kirche St. Heinrich	Kirche in Bernried	336,25
XXVIII	Haus im Park von Bernried	Kirche in Seeshaupt.	
XXIX	Kirche in Bernried	Schloss Ammerland.	
XXX	Schloss Ammerland	Südostspitze der Roseninsel.	
XXXI	Vogelhäuschen in Tutzing	Landspitze nördl. Höhenried.	

Nachdem die Fahrten ihrer Lage nach bestimmt waren, wurden die Strecken von einem bis zum anderen Ufer geteilt. Dazu wurden zunächst die mit dem doppelten Winkelspiegel einvisierten Querrichtungen eingetragen und erst dann die Zwischenstrecken nach der Zahl der Lotungen in gleiche Teile zerlegt. Es stellten sich nur selten große Abweichungen heraus. Die Unterschiede in den Abständen der Lotungen auf derselben Fahrt erreichten im höchsten Falle nur etwa 10—20 m.

Auf diese Weise entstand zunächst die unserem Atlas beigefügte Karte der Lotungen (Tafel II), in die sämtliche Messungen eingetragen sind. Sie bildet die Grundlage für die eigentliche Tiefenkarte (Tafel IV). Diese ist gesondert gezeichnet, weil die große Menge der Zahlen das Bild der Tiefenverhältnisse zu sehr stören würde. Die Beigabe der Karte der Lotungen ist andererseits auch erfolgt, weil nur diese für ein genaueres Studium der Tiefenverhältnisse maßgebend sein darf. Denn die daraus konstruierten Isobathen tragen immerhin einen subjektiven Charakter, sie sind zwischen den Lotungspunkten mehr oder weniger nach Willkür gezogen. Ein anderer Zeichner würde vielleicht an einzelnen Stellen den Tiefenlinien einen ganz anderen Verlauf geben.

Digitized by Google

Freilich das allgemeine Bild dürfte wohl kaum noch verändert werden, auch nicht durch ein dichteres Netz von Lotungen; dazu liegen diese doch schon zu zahlreich vor.

Wir haben aber die Lotungskarte endlich auch darum noch beigefügt, daß jeder folgende Forscher auf Grund derselben in die Lage versetzt wird, genau unsere Lotungen wiederzufinden und eventuell nachzuprüfen oder, wo es notwendig erscheint, zu ergänzen. Wir erachten die gleichzeitige Ausgabe der Lotungs- und der Tiefenkarte für ebenso notwendig, wie etwa die Karte der Bohrungen bei einer geologischen Darstellung des Landes.

Auf der Tiefenkarte sind die Tiefenlinien in Abständen von 10 zu 10 m ausgezogen. Aus besonderen Gründen wurden ferner noch die 5 und die 115 m-Linie punktiert eingetragen. Wo es zur Beurteilung der Beckenform erforderlich erschien, finden sich auch außerhalb der Isobathen einzelne Tiefenangaben. Zur besseren Anschaulichkeit sind die Flächen von 50 zu 50 m mit dunkleren Farbentönen versehen.

Als Ausgangspunkt für die Zeichnung der Tiefenlinien galt der Spiegel des Sees bei Mittelwasser, das nach den zuverlässigsten Angaben eine Meereshöhe von 584 m hat.

Der von Penck und Richter in dem Atlas der österreichischen Alpenseen eingeschlagene Weg, die Tiefenlinien auf das Meeresniveau zu beziehen, wurde nicht befolgt.[3] Nach der Ansicht des Verfassers ist das bisher übliche Verfahren, nach dem die Tiefenlinien auf den mittleren Seespiegel bezogen werden, entschieden das richtigere. Ein Seebecken muß als eine gesonderte Erscheinung betrachtet werden, sein Boden darf keineswegs ohne weiteres mit dem Relief des Uferlandes verglichen werden. Dieses wird ja auch durch ganz andere Kräfte ausgearbeitet als der Seeboden. Überdies ist auch der Verlauf der Isohypsen viel genauer bestimmt und in allen Einzelheiten festgelegt, als der Verlauf der Isobathen. Man würde durchaus Ungleichwertiges zusammenstellen. Auch auf dem Lande interessieren uns oft mehr die sogenannten relativen Höhen wie die absoluten. In einem See haben aber die relativen Höhenangaben darum noch besonderen Wert, weil sie sich auf ein einheitliches, im Terrain äußerst wichtiges und deutlich hervortretendes Niveau beziehen. Die nachträgliche Reduktion auf den Meeresspiegel ist überdies, da es sich um Abstände von 10 zu 10 m handelt, eine so einfache, daß sie jederzeit leicht ausgeführt werden kann. Wir haben auch zu einzelnen Isobathen die betreffenden Werte in Klammern beigefügt. Es kommt endlich noch in Betracht, daß bei Zeichnung der Linien gleicher Tiefe unter Bezug auf das Meeresniveau eine

Digitized by Google

ganz zufällige Linie die erste Isobathe wird, was den Vergleich verschiedener Seebecken mit einander sehr erschwert. Im Würmsee würde die erste Isobathe die Isohypse 580 sein, die 4 m unter dem Seespiegel liegt.

Auf Grund dieser Erwägungen haben wir uns also nicht entschließen können, unsere Tiefenkarte dem genannten Atlas der Alpenseen anzupassen, den wir uns sonst durchaus zum Muster genommen haben.

Das Gelände der Seeumgebung ist nach den bayerischen Positionsblättern in Höhenlinien dargestellt. Diese sind ebenfalls in Abständen von 10 m gezogen und das Gelände ist von 50 zu 50 m in dunkleren Farbentönen gekennzeichnet.

Um die Form des Seebeckens einschließlich seiner Ufergehänge besser zu veranschaulichen, sind der Tiefenkarte auch noch einige Profile (Tafel III) beigefügt, die in dem gleichen Maßstabe für Länge und Höhe von 1:10000 entworfen wurden. Sie sind so ausgewählt, daß in ihnen die charakteristischen Eigentümlichkeiten des Sees deutlich hervortreten.

Beschreibung der Gestalt des Seebeckens.

Die neue Tiefenkarte giebt uns ein Bild von dem Relief des Seegrundes, das von dem bisherigen von Geistbeck entworfenen ziemlich erheblich abweicht. Die Isobathen sind nach Lage und Verlauf völlig verschieden, die Tiefen im allgemeinen größer, der Wechsel der Tiefen häufiger, das ganze Bodenrelief mannigfaltiger.

Diese Unterschiede erklären sich zum größten Teile schon aus der geringeren Anzahl von Lotungen, welche Geistbeck seinem Kartenentwurfe zu Grunde gelegt hatte. Sodann war zweifellos die Methode der Ortsbestimmungen für die Lotungen nicht ausreichend genau, sodaß ihre Eintragung in die Karte wahrscheinlich mit Fehlern verbunden war. Endlich scheint es auch, als ob die Apparate, die von ihm zur Lotung benutzt wurden, nicht zuverlässig gearbeitet hätten. Im allgemeinen sind Geistbecks Tiefen zu gering, vereinzelt um mehr als 10%. Während er nur eine Maximalhöhe von 115 m gefunden hatte*), dehnt sich auf der neuen Karte die Isobathe von 115 m — sie ist punktiert — noch auf 4 km aus. Ein genauerer Vergleich beider Lotungen ist leider ganz unmöglich, weil Geistbeck nichts über die Lage der Profile und die Lotungsstellen auf diesen mitteilt, so-

*) Irrtümlicher Weise hat Geistbeck im Texte seines Werkes 114 m als Maximaltiefe angegeben; dieser Fehler ist dann auch in eine Menge anderer Arbeiten übergegangen.

Digitized by Google

daß eine sichere Übertragung seiner Messungen in die neue Karte ausgeschlossen ist.

Eine Abweichung besteht schon in den Angaben über die größte Tiefe. Diese wurde von uns im Oktober 1894 zu 123,5 m gelotet. Unter Berücksichtigung des damaligen Wasserstandes ergiebt sich daraus für das Mittelwasser rund 123 m Maximaltiefe. Ob der See noch eine tiefere Stelle besitzt, ist nicht völlig ausgeschlossen, aber doch unwahrscheinlich. Jedenfalls wird die wirkliche Maximaltiefe nur wenig davon abweichen. Ihr nähern sich auch die meisten zuverlässigen Angaben früherer Forscher. Wir fügen hier nach Geistbeck die bisherigen Angaben mit dem Namen der Beobachter und dem Jahre der Veröffentlichung bei:

Riedel 1806	Walther 1844	Schlagintweit 1862/67
116	246	118,5

Simony 1879	Schaubach	Amthor
131	121	121

Noë	Steinhauser	Geistbeck 1885
245	246	115.

Daß Geistbeck mit seiner Zahl so erheblich hinter dem Maximalwert zurückblieb, erklärt sich zum Teil daraus, daß er bei seinen Fahrten die größte Tiefe nicht berührte. Die Angaben von Walther, Noë und Steinhauser beruhen sicher nicht auf vorgenommenen Lotungen. Auffallen muß die große Abweichung der Simonyschen Tiefenangabe, da doch dieser Forscher mit besonderer Sorgfalt seine Messungen ausführte. Man möchte hier fast an einen Schreibfehler denken, sodaß es etwa 121 statt 131 heißen müßte, noch dazu da Simony mit Hanfleinen die Tiefen bestimmte, die erfahrungsgemäß eher zu kleine Werte ergeben.

Wenden wir uns nun der Betrachtung des Seebeckens im allgemeinen zu, so erscheint dieses uns als eine einheitliche Wanne, deren Boden sich von Süden her sehr allmählich zur größten Tiefe senkt und von dort wieder allmählich, aber in steilerer Böschung zum Nordende erhebt. Nach den Seiten steigt der Boden in fortwährend wechselnder Neigung an. Man kann in der Gestalt deutlich zwei Teile unterscheiden: eine breitere Mulde mit sanften Gehängen im äußersten Süden und eine tiefe Furche mit bald steilen bald sanften Gehängen im nördlichen Teile. Dieser ist daher ziemlich mannigfaltig gestaltet. Er geht erst dort, wo das Ostufer sich etwas nach NO wendet und der See sich erheblich verschmälert, in eine einheitlichere Furche mit beiderseits steilen Seitenwänden über. Zu-

Digitized by Google

vor erweitert sich die Rinne zu einem breiteren Becken, dessen Boden nach beiden Seiten terrassenförmig aufsteigt. Unter Berücksichtigung dieser Einzelheiten kann man das ganze Becken auch in vier deutlich gekennzeichnete Teile gliedern:

1. eine flache breite Mulde im Süden;

2. eine breitere, beiderseits von steilen Gehängen begleitete Rinne von etwa 70 bis 80 m Tiefe zwischen Bernried und Ambach, äußerlich als Einschnürung der Seefläche hervortretend;

3. an der Stelle der größten Breite der Seefläche eine Erweiterung der Rinne unter allmählicherem Anstieg des Bodens nach beiden Seiten;

4. eine schmale Furche, aus der auf der Ostseite der Boden unmittelbar zum Ufer ansteigt, die im Westen allerdings noch von einer Terrasse begleitet wird. Diesem letzten Teile gehört die größte Tiefe an, sie liegt genau dort, wo das Becken sich zu der schmalen Rinne verengt.

In dem See erkennen wir deutlich auch einen sogenannten Schweb, der freilich nicht durch eine einheitliche Isobathe begrenzt wird. Dieser Schweb, die Sohle des tiefsten Seegrundes, erreicht eine Breite von etwa 800 bis 2000 m, er nimmt meist noch nicht die Hälfte des Sees ein, der im Mittel über $2^1/_2$ km breit ist. Nach beiden Seiten steigt die Halde steil auf, an einzelnen Stellen mit einer Böschung von 30° und darüber. Auf der Ostseite begleitet eine solche steile Halde die tiefste Mulde des Sees noch weit über den Schweb nach Norden und Süden hinaus, indem erst bei Berg und bei Ammerland der Grund in sanfterem Anstieg aus der Tiefe aufsteigt. Der Schweb selbst stellt keineswegs einen völlig ebenen Boden dar, sondern ist wie der Grund des Seebodens überall flach gewellt. Die Lotungen von Ort zu Ort zeigen fortwährend kleine Unterschiede von 2 bis 5 m, hervorgebracht durch entsprechende Erhebungen des Untergrundes.

Daß der Schweb keineswegs die Mitte einnimmt, sondern dicht an das Ostufer herangedrängt ist, erscheint besonders charakteristisch. Dort steigt auch das Ufer, wie wir früher gezeigt haben, steil auf. Es setzt sich demnach das steile Ufergehänge unmittelbar im See fort, zuweilen mit einem so schroffen Abfalle, daß das Lot stellenweise keinen Ruhepunkt finden konnte. Nur eine schmale Uferzone, sogenannte Wysse, von 20—30 m begleitet hier den Strand. Den Schweb erreichen wir bereits in einer Entfernung von etwa 300 m und die tiefste Stelle des Sees überhaupt in einer solchen von 650 m. Es entspricht diese Annäherung der tiefsten Rinne an das östliche Ufer ganz den Formen der heutigen Flußthäler Oberbayerns,

Digitized by Google

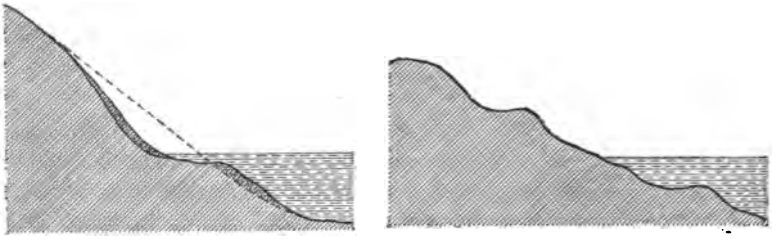
in denen das Wasser vorwiegend nahe dem östlichen steileren Gehänge sich bewegt.

Auf der Westseite des Schwebes liegt das obere Ende der Halde noch über 1 km vom Ufer entfernt. Es breitet sich hier vor diesem ein flaches Wasser aus, das erst von 40 m an steiler abfällt. Als Wysse können wir diesen breiten Streifen nicht mehr bezeichnen, da der Grund nicht immer gleichmäßig zum Strande hin ansteigt, sondern sich wiederholt noch wieder tiefer einsenkt. Es ist eine breite Terrasse, wie wir sie auch auf dem Lande antreffen, genau in der Form, die unser Bild auf S. 18 zeigt. Die Terrainformen des Landes setzen sich also auch hier unter dem Wasser hin fort. Als Wysse möchten wir die Terrasse auch darum nicht auffassen, weil für sie keine einheitliche Begrenzung sich finden läßt. Man könnte sowohl die 10 m-Isobathe, wie auch an anderen Stellen die 20 und sogar 30 m-Isobathe als Grenze annehmen. Die 10 m-Isobathe springt am weitesten südlich Feldafing in den See hinaus, wo der Boden sich in einem flachen Rücken erhebt und an einer Stelle, in der sogenannten Roseninsel, sogar aus dem Wasser aufragt. Ausgedehnte Schilfbestände im Norden und Süden der Insel zeigen ebenfalls das Vorhandensein einer Untiefe hier an. Erst bei Possenhofen verschwindet die Terrasse wieder. Dort tritt die Halde wie im Osten unmittelbar an das Ufer heran, sodaß der tiefste Seeboden die ganze Breite des Sees einnimmt. Es geht nun die zuvor unterseeische Terrasse auf das Land selbst über und bildet das Ufer.

Ist der nördlichste Teil hiernach im allgemeinen ziemlich einfach gestaltet, so zeigt das Seebecken südlich etwa der Linie Garatshausen—Ammerland im vollen Gegensatze dazu ein reichgegliedertes Bodenrelief. Hier verändert sich auch die Form des Uferlandes. Sowohl im Osten wie im Westen treten die größeren Höhen von dem See weiter zurück, die Gehänge haben einen allmählichen Abfall, unmittelbar am See erhebt sich nur vereinzelt der Boden zu größerer Höhe. Dem entsprechen durchaus die Bodenformen im See. Eine flache Sohle, ein Schweb, ist auch hier noch vorhanden, aber nicht mehr in der einförmigen Umgrenzung; östlich des Hornes Höhenried erfährt er eine bedeutende Einschnürung auf etwa 1 km, im Bereiche des Karpfenwinkels dagegen eine Erweiterung auf fast 2 km. Eine eigentliche Halde tritt nur noch vereinzelt auf, so an dem Ufer zwischen dem Horn und dem Bernrieder Park. Auf der Ostseite können wir noch bis zur Einschnürung östlich des Hornes eine steilere Halde mit flacherer Terrasse längs des Ufers verfolgen. Im übrigen aber steigt der Boden meist allmählich auf in häufig wechselnder Neigung, mehrfach breite Terrassen bildend. Solche Terrassen

Digitized by Google

können wir namentlich längs des Westufers beobachten. Hier wiederholen sie sich zuweilen, d. h. aus dem tiefen Schweb erhebt sich der Boden zunächst unter stärkerer Böschung um etwa 30 m, dann folgt eine ebene Fläche von etwa 500 m Breite, hierauf abermals ein steilerer Anstieg um ca. 30 m, und wieder eine ebene Fläche, aus der endlich nochmals unter größerer Neigung der Grund zum Ufer sich erhebt. Der Boden auf den Terrassen ist nicht völlig eben, sondern zeigt mehrfach kleine Anhöhen, meist nur Erhebungen von wenigen Metern; aber östlich des Hornes ragt eine solche auch zu bedeutenderer Höhe auf, hier unterbricht ein Hügel von über 20 m den einförmigen Seegrund, nach dem Schweb zu zeigt er einen ziemlich steilen Abfall von 30 m. Die ganze Form dieses Hügels erinnert außerordentlich an die der Drumlins, die wir zahlreich im Westen des südlichen Sees finden, er hat auch in seiner Längserstreckung annähernd die gleiche Richtung wie diese.



Profil des Ostufers. *Profil des Westufers.*

Charakteristische Gehängeformen des Sees.

In dem südlichsten Teile senkt sich der Boden ganz allmählich zur größten Tiefe ab. Oft begleitet ein breiter flacher Streifen das Ufer. Die 10 m-Isobathe ist auf der Westseite bis auf 500 m vom Ufer abgerückt. Wir können aber auch hier von einer eigentlichen Wysse nicht reden; denn wir haben es nur mit einer Fortsetzung des sanft geneigten Uferlandes zu thun.

Eine ausgesprochene Wysse mit ausgespültem Boden finden wir überhaupt nur vereinzelt am See. Sie tritt dort auf, wo Steilufer unmittelbar das Wasser begrenzen. Wir beobachten sie daher namentlich im Osten zwischen Ammerland und Berg; aber auch längs des Westufers zeigt sich wiederholt eine deutliche Wysse. Auch im Würmsee ist ihre Entstehung auf die Wirkung von Wind und Wellen zurückzuführen. Man erkennt sie sofort an der Bedeckung des Bodens mit dichtem Geröll. Wo der seichte Untergrund längs des Ufers mit Schlick oder Sand bedeckt ist, liegt der natürliche Boden vor, der nur selten noch mit Schwemmaterial überschüttet ist.

Digitized by Google

Der für andere Seen charakteristische Hang oder Kliff am Ufer fehlt vielfach am Würmsee, meist ist er durch die Vegetation verhüllt, oft auch auf künstliche Weise durch Menschenhand beseitigt. Es sind aber auch häufig die Bedingungen nicht gegeben, welche die Ausbildung eines Kliffes ermöglichten. Das Land ist vorwiegend aus lockerem Materiale aufgebaut, in dem das Kliff durch Herabgleiten der lockeren Gesteinsmassen immer wieder verschüttet wird.

Die charakteristischsten Gehängeformen des Sees geben die umstehenden Abbildungen wieder.

Die Gestalt des Seebeckens wird deutlicher noch als durch die Tiefenkarte durch die einzelnen Lotungsprofile veranschaulicht. Wir haben einige davon dem Atlas (Tafel III) beigefügt. Diese sind für die Längen und Höhen in dem gleichen Maßstabe 1:10000 gezeichnet. Um auch die Art der Einsenkung des Beckens in das Gelände darzustellen, haben wir die Profile noch etwa 1 km weit auf das Land ausgedehnt.

Die Profile sind sämtlich von West nach Ost gerichtet und so gewählt, daß jeder der oben näher gekennzeichneten Teile zur Veranschaulichung kommt.

Das Profil II ist dem südlichsten Teile entnommen, der auch hier als ein flaches nach beiden Seiten allmählicher ansteigendes Becken erscheint. Aber der Anstieg nach Osten ist bereits erheblich steiler als der nach Westen, wo eine breite Terrasse sich zeigt, zu der sich der Grund aus der größeren Tiefe schon in etwa 1 km vom Westufer erhebt. Die steilste Böschung erreicht hier nur 7° im Osten und 6,5° im Westen. In der Mitte ist ein deutlicher Schweb von 37,0—42,5 m Tiefe zu erkennen, der sich auf etwa 1,75 km ausdehnt und sich bedeutend dem Ostufer nähert, von dem er nur 800 m entfernt liegt.

Das Profil VI giebt ein Bild des Beckens in der Einschnürung von Bernried. Hier haben wir eine nach beiden Seiten steiler aufsteigende Rinne. Der Schweb ist 72—76 m tief und hat eine Breite von ca. 1,5 km. Die steilsten Böschungen im Westen erreichen 9, die im Osten 13°. Nahe dem Ostufer ist eine Terrasse angedeutet. Diese tritt weiter nördlich immer schärfer hervor, wie uns das die Profile IX und XI zeigen. Der Schweb beginnt daher erst mit 750 m vom Ostufer, dagegen schon bei 500 m vom Westufer.

In dem Profil IX finden wir den 30 m hohen Berg östlich des Horns. Das Profil gehört also noch der Einengung nördlich Bernried an, zeigt uns aber doch schon eine bedeutend veränderte Gestalt des Seebeckens. Der eigentliche Schweb mit einer Tiefe von 84—91,5 m liegt östlich des Berges und hat eine Breite von etwa 1 km. Der Boden steigt von ihm zum Ostufer zunächst allmählich,

Digitized by Google

dann nahe diesem steiler, unter einem Winkel von 14°, an. Westlich des Berges tritt eine zweite Senke von 86,5—88 m Tiefe auf, ein etwa 300 m breiter zweiter Schweb, aus dem sich der Boden erst steiler, unter 10°, dann flacher und schließlich nochmals steiler erhebt. Diese Form des Reliefs kehrt auf der Westseite beständig wieder, wie wir bei der Betrachtung der weiteren Profile sehen werden.

Das Profil XI stellt uns das Becken etwa an der breitesten Stelle dar. An dieser Erweiterung des Beckens nimmt auch der Schweb teil, der mit einer Tiefe von etwa 90—101 m auf ca. 1,8 km sich erstreckt. Nach Osten erhebt sich der Grund aus dem Schweb in der Entfernung von mehr als 1100 m vom Ufer unter der Neigung von etwa 12,5° zu einer breiten Terrasse, von der dann der Boden allmählicher zum Ufer ansteigt. Im Westen ist das Bild noch mannigfaltiger. Hier beginnt der Schweb erst 1,3 km vom Ufer. Wir bemerken dann zunächst einen sanften Anstieg zu einem kleinen Hügel, der den Boden nach dem Ufer zu noch um 1 m überragt. Etwa 1 km vom Ufer zeigt sich eine etwas steilere Böschung von 8°, dann aber gelangen wir allmählich unter einer Neigung von etwa 3—4° zum Ufer, vor dem noch einmal die Böschung 7° erreicht.

Mit dem Profil XVII kommen wir in den nördlichen schmäleren Teil, in dem der Schweb als eine schmale tiefe Rinne erscheint. Das Profil durchschneidet den See nahe der Südgrenze dieses Teiles und enthält die tiefste Lotung. Die Maximaltiefe liegt nur 650 m vom Ostufer, dagegen über 2 km vom Westufer entfernt, aber nahezu in der Mitte des tiefsten Schwebes, der hier zwischen den Tiefen von 110 m nur 850 m breit ist. Nach Osten finden wir unter Wasser einen außerordentlich steilen Abfall unmittelbar zum Schweb. Die steilste Böschung erreicht hier 35°; sie ist aber in Wirklichkeit vermutlich noch viel größer, da bei dem Messen an der betreffenden Stelle das Lot thatsächlich an dem Gehänge keinen Halt finden konnte. Der Grund senkt sich also unter Wasser noch erheblich steiler als der Boden am Ufer, wo wir nur Böschungen von 20° haben. Soviel erreicht annähernd noch der mittlere Böschungswinkel bis zum tiefsten Schweb, der hier nur 300 m vom Ufer entfernt liegt. Nach dem Westufer beginnt der Anstieg schon in einem Abstand von 1,5 km, zunächst steiler unter einer Neigung von 10 und 11°, dann sanfter unter 4—5°. Damit erreichen wir den Rand einer Terrasse, die noch einmal etwas sich einsenkt, schließlich aber ganz allmählich zum Ufer aufsteigt, das ebenfalls ein sanftes Gehänge darstellt und erst in einer Entfernung von 300 m sich steiler erhebt.

Digitized by Google

Auch das Profil XXIII gehört dem nördlichen schmalen Teile des Sees an. Es zeigt die einfachste Form, eine etwa 750 m breite Rinne mit steilem Gehänge nach beiden Seiten, die tiefste Stelle wieder nahe dem Ostufer. In diesem Profile liegt die steilere Böschung auf der Westseite, sie erreicht 22°; auf der Ostseite beträgt sie nur 18,5°. Hier beobachten wir jedoch die gleiche Böschung auf dem Lande, während das Westufer sich als eine breite Terrasse an den See anlehnt und erst in der Entfernung von fast 1 km steiler sich erhebt. Es ist, als ob die Bodenterrasse, die wir südlich noch unter dem Wasserspiegel feststellen konnten, nun aus diesem hervorgetreten sei; diesen Eindruck gewinnen wir namentlich, wenn wir die Profile XXIII mit XVII vergleichen.

Wenn wir die Terrassen längs des Westufers von Norden nach Süden verfolgen, so macht sich überhaupt die auffallende Thatsache bemerkbar, daß die Terrassen stets von Norden nach Süden geneigt sind. Die Uferterrasse, auf der Nieder-Pöcking liegt, taucht bis Possenhofen unter den Seespiegel; dann beginnt mit der Roseninsel eine neue Terrasse, die in der Gegend von Garatshausen zum tieferen Seeboden abfällt. Südlich Garatshausen finden wir nahe dem Ufer eine neue Terrasse, die im Karpfenwinkel verschwindet. Wir stoßen darauf auf das Horn nördlich Bernried, das von Bernried selbst an zur Seeseitener Bucht allmählich abfällt. Diese Wiederholung derselben Bodenform auf der Westseite des Sees ist einer der auffallendsten Züge in dem Relief seines Untergrundes und zeigt ebenfalls eine vollständige Übereinstimmung mit den Formen des Landes, bei denen wir auch das treppenartige Aufeinanderfolgen der Terrassen beobachten konnten. (S. 19.)

In allen Profilen tritt sehr klar auch der flußthalartige Charakter des Seebeckens uns entgegen. Die Sohle des Thales hat zwar eine wiederholt wechselnde Breite, doch schwankt sie nicht in dem gleichen Maße wie die Breite der gesamten Wasserfläche und nicht mehr, als in jedem recenten Flußthale. Die Sohle liegt durchweg näher dem Ostufer, zu dem sie im allgemeinen steiler ansteigt, was wir auch an den heutigen Flußthälern Oberbayerns noch wahrnehmen.

Diese Thatsache darf wohl als das wichtigste Ergebnis der neuen Lotungen angesehen werden. Das Seebecken zeigt eine tiefe Thalrinne, die sich nahe dem Ostufer mit einer mittleren Breite von 1,25 km hinzieht. Sie ist im allgemeinen auf beiden Seiten von steilen Gehängen begrenzt, nur vereinzelt begleiten sie sanftere Böschungen. Der Charakter des Beckens als Flußrinne verliert sich erst von einer Tiefe von etwa 70 m an. Dann treten im Seegrunde Formen auf, die genau jenen des Uferlandes entsprechen.

Digitized by Google

Die Übereinstimmung der Bodengestalt unter und über dem Wasser dürfte dann weiter ein nicht minder wichtiges Resultat sein. Die Ähnlichkeit einzelner Formen ist oft so überraschend, daß sie selbst dem Fischer, welcher bei den Lotungen als Ruderer zugegen war, nicht entging.

Litteratur.

[1] Alois Geistbeck, Die Seen u. s. w. s. a. a. O.
[2] W. Halbfaß, Tiefen- und Temperaturverhältnisse einiger Seen des Lechgebietes. (Peterm. Mitt. 1895.)
[3] A. Penck u. E. Richter, Atlas der österreichischen Alpenseen. Wien 1895 u. 96.

Morphometrie des Sees.

Unseren Betrachtungen über die Gestalt des Sees wollen wir einige Angaben über die morphometrischen Verhältnisse anschließen. Wir beschränken uns dabei nur auf die wichtigsten Werte, namentlich auf die, welche ohne allzuviel Zeitaufwand berechnet werden können. Im allgemeinen legen wir aber diesen Berechnungen kein großes Gewicht bei. Zur richtigen Beurteilung der Gestalt eines Sees soll in erster Linie das Kartenbild selbst die Grundlage bilden. Durch die Berechnungen werden gerade die charakteristischen Einzelheiten des Bodenreliefs oft verwischt, und zwar umsomehr, je mannigfaltiger das Becken gestaltet ist. Vielfach sind auch die in der Morphometrie angewandten Methoden keineswegs ganz einwandsfrei, sodaß die gewonnenen Resultate einen recht zweifelhaften Wert haben können. Ferner setzt die Ausführbarkeit aller dieser Rechnungen meist eine weit genauere Kenntnis der Bodenformen voraus, als wir sie im allgemeinen auch bei gut ausgeloteten Seen besitzen. Man darf den Wert der Tiefenmessungen nicht überschätzen und nie vergessen, daß es immer nur Punkte sind, die wir sondieren. Es kann auf diesen großen Unterschied zwischen hypsometrischen Karten von Seen und von trockenem Lande nicht genug aufmerksam gemacht werden; die nicht ausreichende Beachtung desselben führt leicht zu Irrtümern und Trugschlüssen. Wir kennen vom Seegrunde nur die Lage einzelner Punkte und auch diese nicht mit der Sicherheit wie auf dem Lande. Was aber zwischen den Punkten liegt, ist uns völlig unbekannt. Es ist darum eigentlich kaum statthaft, zwischen diese Punkte die Isobathen zu ziehen; es wäre sicher weit sachlicher, nur die Lotungsergebnisse in die Karten einzutragen. Allein dann fehlt die Übersichtlichkeit, die wir zur besseren Be-

Digitized by Google

urteilung der Tiefenverhältnisse nun einmal brauchen. Wir sind darum gezwungen, Isobathen einzuzeichnen, müssen aber immer bedenken, daß diese den wirklichen Verhältnissen nicht entsprechen, daß es nur nach Gutdünken eingetragene Linien sind. Wo einfach gestaltete Seebecken vorliegen, mögen die daraus erwachsenden Fehler freilich nur gering sein; sowie aber das Relief des Untergrundes nur ein wenig verwickelter wird, können durch die Berechnungen auf Grund solcher Linien die wirklichen morphometrischen Verhältnisse ganz erheblich entstellt werden.

Das dürfte schon bei dem Würmsee der Fall sein. Wenn dieser auch im allgemeinen ein ziemlich einförmiges Becken darstellt, so zeigt er doch im einzelnen oft große Mannigfaltigkeit im Aufbaue des Bodens. Wir haben uns darum bei der morphometrischen Berechnung möglichst solcher Methoden bedient, bei denen nur die thatsächlich gewonnenen Tiefenzahlen in Anwendung kamen. Nur zum Vergleiche wurden auch einige Verfahren benutzt, die sich auf den Verlauf und die Länge der Isobathen stützen.

Fläche, Gliederung und Umfang des Sees.

Die Fläche des Sees wird nach A. Geistbeck vom bayerischen Katasteramt zu 57,3 qkm angegeben. Wir haben diese Zahl durch Nachmessen mit einem Planimeter auf den neuen Positionsblättern geprüft und einen etwas kleineren Wert, nämlich 57,064, oder auf die gleiche Dezimale abgekürzt 57,1 qkm erhalten. Der Unterschied ist so gering, daß er sich vielleicht allein schon aus den Fehlern der Karten durch Verzerrung des Papieres erklärt. Es kann aber auch der katasteramtlichen Zahl eine andere Seefläche zu Grunde gelegen haben, deren Umfang durch neuere topographische Aufnahmen in geringem Maße verändert worden ist.

Wir haben uns bei der Ausmessung eines Amslerschen Polarplanimeters bedient, das sehr sicher und zuverlässig arbeitete. Ein Kontrollversuch mit einem Stangenplanimeter von Eckert und Hamann mißlang, weil dieses Instrument doch nicht so genaue Werte liefert, wie wir sie bei einem Maßstab von 1 : 25 000 brauchen.

Da wir auch allen übrigen Planimetrierungen die bayerischen Positionsblätter in 1 : 25 000 zu Grunde gelegt haben, der gleiche Fehler, wie er sich für die Gesamtfläche ergab, also auch für alle Teile desselben bestehen blieb, so haben wir bei unseren sämtlichen Berechnungen den mit dem Planimeter ermittelten Wert von 57,1 qkm für das ganze Seeareal verwendet.

Digitized by Google

Hinsichtlich der Flächengröße nimmt der Würmsee unter den alpinen Vorlandseen die zweite Stelle ein. Nur der Chiemsee mit 82,1 qkm übertrifft ihn um ein bedeutendes, der Ammersee mit einer Fläche von 46,5 qkm steht dagegen schon erheblich hinter ihm zurück.

Der obige Wert giebt uns nur die Wasserfläche. Die Inseln sind davon in Abzug gebracht. Der See besitzt nur eine größere Insel, die Roseninsel, die 0,0169 qkm, oder 16,9 ha einnimmt. Es sind noch einige kleinere Inseln bei Niederpöcking vorhanden, die aber vernachlässigt werden können, da sie zusammen noch keine 100 qm Fläche haben. Die sogenannte Insulosität, d. h. das Verhältnis der Fläche der Inseln zu der Gesamtfläche ergiebt also den geringen Wert von 0,0003.

Der kleinen Zahl von Inseln entspricht auch eine geringe Gliederung des Sees. Er stellt eine ziemlich einheitliche Wasserfläche dar. Die Uferlinie an der Ostseite verläuft in geradezu auffallender Gleichmäßigkeit. Im Verlaufe des Westufers zeigen sich allerdings größere Krümmungen. Wir haben dort die große Bucht von Seeseiten und die etwas kleinere aber tiefere Bucht bei Unterzeismering, den Karpfenwinkel, der im Südosten von der einzigen größeren Landzunge, dem Horn, begrenzt wird. Außerdem beobachten wir hier noch viele kleinere Buchten, namentlich bei Tutzing und Bernried. Hierin unterscheidet sich der See wesentlich von den vielen kleinen Seen in seiner Umgebung. Diese sind als echte Grundmoränenbildungen außerordentlich reich gegliedert, was auch aus dem der Seite 16 beigefügten Bilde des Ostersees ersichtlich ist.

Die Gliederung eines Sees pflegt man rechnerisch auszudrücken durch das Verhältnis seines wirklichen Umfanges zu dem kleinstmöglichen Umfange seiner Fläche, d. h. also zu dem Umfange eines flächengleichen Kreises. Man bezeichnet diesen Wert auch als die Grenzentwicklung.

Die Länge des Umfanges haben wir mit Hilfe eines vom Verfasser konstruierten Polarkurvimeters auf den Positionsblättern in 1 : 25 000 bestimmt. Es ist dabei allerdings sicher nicht die wahre Länge ermittelt; denn auf jeder Karte müssen die natürlichen Verhältnisse verkleinert und dabei auch die Formen etwas vereinfacht werden. Vielfach gebogene Linien können nur in ihren Hauptkrümmungen wiedergegeben werden. Allein diese Vereinfachung bedingt doch nur eine geringe Veränderung der Gesamtlänge. Es treten dabei ebensowohl Verlängerungen wie Verkürzungen ein; die kleinen Krümmungen verschwinden, aber die größeren werden um so deutlicher zum Ausdrucke gebracht.

Digitized by Google

Um einen Einblick in diese Veränderungen der Kurvenlängen bei verschiedenen Maßstäben zu erhalten, haben wir den Umfang des Sees der Reihe nach auf den Karten 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000 und 1 : 250 000 gemessen. Wir erhielten folgende Längen:

1 : 25 000	1 : 50 000	1 : 100 000	1 : 250 000
48,8	49,25	48,6	48,6 km.

Man sieht, daß die Werte nur sehr wenig von einander abweichen. Der etwas größere Wert für 1 : 50 000 beruht vermutlich auf einem Fehler der Karte. Die betreffende bayerische Karte von der Seeumgebung ist aus 2 dem Alter nach verschiedenen und darum ungleichwertigen Kartenblättern zusammengesetzt. Es haben sich auf dieser Karte auch andere Fehler, namentlich solche in der Richtung gezeigt. Die Bedenken, welche allgemein gegen die Ermittelung von Linienlängen auf Karten mittels Kurvimeter erhoben werden, sind demnach bei Karten größeren Maßstabes nicht so gerechtfertigt, wie es den Anschein hat. Vor allem dürfen wir für unsere Messungen ohne weiteres die Positionsblätter als ausreichende Grundlage benutzen. Die Fehler in dem Verlaufe der Umrißlinie sind jedenfalls sehr klein.

Bei dieser Gelegenheit möchten wir auch noch einen anderen Irrtum berichtigen, der hinsichtlich der Brauchbarkeit der Kurvimeter laut geworden ist. Es gilt als selbstverständlich, daß die Messungen mit Kurvimetern ungenauere Resultate liefern müßten als die Planimeter, weil bei diesen durch ein Abkommen von der Begrenzungskurve die Fläche selbst nur um ein geringes verändert werde und auch die Fehler durch ein wechselndes Abkommen nach beiden Seiten der Kurve aufgehoben würden. Bei dem Messen von Linien summierten sich dagegen die Fehler. Das ist jedoch nicht richtig. Auch hier kann durch ein Fehlfahren die Kurve selbst ebenso oft verlängert wie verkürzt werden, da ein Abkommen von der Kurve noch keineswegs immer auch eine Längenvergrößerung bedeutet. Die Wahrscheinlichkeit spricht auch hier für ein stetes Sichkorrigieren der Fahrfehler. Etwas Anderes ist es, daß wir die Verzerrung der Abstände infolge der Projektion nicht immer ohne weiteres bestimmen können. Man muß darum Kurvimetrierungen nur auf Karten großen Maßstabes vornehmen, die annähernd als abstandstreu gelten können.

Für den Umfang des Würmsees haben wir auf Grund der obigen Zahlen rund 49,0 km angenommen. Fügen wir noch den Umfang der Roseninsel, 0,6 km hinzu, so erhalten wir als Grenz-

Digitized by Google

länge etwa 49,5 km. Wir bekommen nun die Grenzentwicklung E aus folgender Formel:

$$E = \frac{U}{2\,\pi\,\sqrt{F : \pi}} = \frac{49{,}5}{2\,\pi\,\sqrt{57{,}1 : \pi}} = 1{,}87.$$

Der wahre Umfang des Sees ist also nur 1,87 mal größer als der kleinstmögliche der Seefläche. Damit ist die geringe Gliederung des Sees auch ziffermäßig festgestellt.

Der wenig gegliederte See hat eine ausgesprochen flußartige Gestalt; seine größte Breite beträgt nur 4,7 km, während seine größte Länge, gemessen vom äußersten Südpunkte bis zum äußersten Nordpunkte, 19,9 km mißt, also die größte Breite um mehr als das 4fache übertrifft.

Diese längste Linie des Sees zieht aber nicht durch die Mitte der Wasserfläche, sondern läuft über das Ostufer hinweg. Ziehen wir die wahre Mittellinie, so erhalten wir eine etwas größere Länge, nämlich rund 20,5 km, die allerdings bei der einförmigen Gestalt des Beckens jene nur um wenig übertrifft. Durch Division dieser größten Länge in das Areal des Sees erhalten wir die mittlere Breite, die sich zu 2,8 km ergiebt.

Der nördlichste tiefe Teil ist durchweg schmäler als die mittlere Breite, ebenso jener rinnenartige Teil zwischen Bernried und Ammerland. Dagegen erweitert er sich in der Bucht von Seeseiten noch fast um 1 km darüber hinaus, die größte Breite beträgt dort 3,6 km.

Die Meereshöhe des Seespiegels und Seegrundes.

Der Spiegel des Sees hat nach den neuesten Positionsblättern eine Meereshöhe von rund 584 m. Auf früheren Karten wird er auch zu 585 und sogar 586 angegeben. Diese Differenz beruht vermutlich auf den Verschiedenheiten des Nullpunktes der Nivellements. Einen Anhalt für die Bestimmung der Meereshöhe giebt uns die Lage des Nullpunktes am Pegel bei Starnberg. Dieser wird amtlich mit 583,15 m verzeichnet. Das amtliche Mittelwasser liegt 0,41 m höher; für dieses erhalten wir somit 583,56 m. Legen wir aber der Berechnung den neuen Eisenbahnhorizont zu Grunde, so bekommen wir für den Pegelnullpunkt die Höhe von 584,17, für das Mittelwasser also 584,48 m.

Einen anderen Weg zur Bestimmung der Meereshöhe liefert uns eine Arbeit des Metereologen Lingg „Über die bei Kimmbeobachtungen am Starnberger See wahrgenommenen Refraktions-

Digitized by Google

erscheinungen".[1] Lingg ermittelte für die Zeit seiner Beobachtungen, September 1886, die Höhe des Wasserspiegels zu 584,40 m über der Nordsee. Da nun der Wasserstand damals 0,81 m betrug, also 0,40 m mehr als das amtliche Mittelwasser, so erhalten wir nach dieser Angabe genau 584 m als Meereshöhe für den mittleren Seespiegel.

Diese Zahl wird man als die richtigste ansehen können. Eine endgiltige Feststellung der Höhenlage des Seespiegels wird erst möglich sein, wenn die Höhendifferenzen zwischen den verschiedenen Vergleichsniveaus — Berliner Normal-Null, Amsterdamer Pegel-Nullpunkt, Mittelwasser der Nordsee und Generalhorizont des bayerischen Präzisionsnivellements — genau ermittelt sind.

Die Maximaltiefe des Sees beträgt 123 m; der tiefsten Stelle des Sees kommt also eine Meereshöhe von 461 m zu. Ist für den Ammersee die Maximaltiefe von 79 m, welche Geistbeck angiebt, richtig, so bekommen wir für die tiefste Einsenkung dieses Gewässers, dessen Seespiegel 534 m hoch liegt, fast genau die gleiche Meereshöhe, nämlich 455 m, also nur 6 m weniger. Auch der tiefste Grund im Chiemsee, der nach Bayberger eine Spiegelhöhe von 518,5 m und eine Tiefe von 73 m hat, fällt beachtenswerterweise fast in das gleiche Niveau; mit 445,5 m ist er nur 15,5 m tiefer als der Würmsee und nur 9,5 tiefer als der Ammersee.

Mittlere Tiefe und Volumen.

Der Würmsee ist unter den alpinen Vorlandseen nach dem Bodensee entschieden der tiefste. Die Größe seiner Einsenkung ergiebt sich auch aus dem Verhältnisse der Maximaltiefe zur größten Länge des Sees, das gleich 1 : 167 ist, d. h. der so langgestreckte See ist doch nur 167 mal so lang als tief. Das Verhältnis zur mittleren Breite beträgt 1 : 23.

Besser noch wird die Größe des Beckens veranschaulicht durch seine mittlere Tiefe. Sie können wir auf verschiedene Weise berechnen, zunächst unmittelbar aus den Lotungen. Einen Näherungswert bekommen wir aus der Division der Summe sämtlicher Lotungen durch die Zahl derselben. Es ist dabei aber zu beachten, daß die Lotungen möglichst gleichmäßig über den See verteilt sind. Wir haben darum für diese Rechnung nur verwendet die Lotungen der Profile I—VII, IX—XV und XVII—XXVI. Das Ergebnis war eine mittlere Tiefe von 58,2 m.

Diese Berechnung muß jedoch, wie eine einfache Erwägung lehrt, zu einem zu großen Werte führen. Bei einer völlig gleichmäßigen Verteilung der Lotungen müssen den Messungen im See

Digitized by Google

zur Berechnung auch immer Punkte am Ufer zugeordnet werden. Die Zahl der Lotungen muß also um eine von der Art der Verteilung dieser über den See abhängige Zahl vermehrt werden. Für unseren Fall ergiebt sich diese Zahl aus der Anzahl der Profile. Wir müssen zunächst den Lotungen innerhalb eines Profiles je einen Punkt am Ufer zuordnen. Dasselbe müssen wir aber auch in der Längstrichtung thun, sodaß wir schließlich die Zahl sämtlicher Lotungen um 25 zu erhöhen haben. Allgemein ausgesprochen lautet hiernach die Bestimmung der mittleren Tiefe unmittelbar aus den Lotungen: Man erhält annähernd die mittlere Tiefe durch Division der Anzahl der Lotungen und der ihr bei gleichmäßiger Verteilung zukommenden Punkte am Ufer in die Summe sämtlicher Tiefen.

Für den Würmsee erhalten wir nach dieser ersten Berechnung die mittlere Tiefe $T_1 = 54{,}8$ m.

Etwas zuverlässiger läßt sich die mittlere Tiefe auf folgende Weise bestimmen. Man berechnet zunächst möglichst genau die mittlere Tiefe jedes Profiles und denkt sich dann senkrecht zur Richtung des Profils ein neues Profil gelegt, für das wir nun aus den mittleren Tiefen jedes Profiles wieder die mittlere Tiefe berechnen.

Auch dieser Rechnung haben wir nur die oben aufgeführten gleichmäßig über den See verteilten Profile zu Grunde gelegt.

Die mittlere Tiefe jedes Profils erhalten wir aus der Division seiner Länge in seine Fläche. Die Länge können wir unmittelbar der Karte entnehmen, die Fläche muß aber erst auf Umwegen ermittelt werden. Wir haben folgenden Weg beschritten. Wir haben angenommen, daß die Lotungsstellen sich in gleichen Abständen in den Profilen befinden. In Wirklichkeit ist das nicht der Fall, die Abweichungen sind aber so gering, daß sie vernachlässigt werden können. Dann haben wir die Fläche jeden Teiles des Profiles, das von zwei Lotungen begrenzt ist, berechnet. Sie ist gleich dem Produkte aus der halben Summe der Tiefe und dem Abstande der Lotungen. Sind n Lotungen gemacht, so bekommen wir n—1 solcher Trapeze, außerdem aber noch zwei Dreiecke, begrenzt von der ersten und letzten Lotung, deren Inhalt sich ergiebt aus dem halben Produkte der Lotung und der Höhe, d. i. des Lotungsabstandes. Die Fläche des ganzen Profiles liefert dann folgende Formel:

$F = a\,(l_1 + l_2 + \ldots l_n)$, wo a den Abstand der Lotungsstellen und l die den Lotungsstellen entsprechende Tiefe bedeutet. Daraus folgert für die mittlere Tiefe:

$$t_m = \frac{F}{(n+1)\,a} = \frac{l_1 + l_2 + \ldots l_n}{n+1}.$$

Digitized by Google

Den Wert von F konnten wir auch durch Planimetrierung gewinnen. Dazu hätten wir aber sämtliche Profile zeichnen müssen, was einen großen Aufwand an Zeit verursacht hätte. Zur Kontrolle unseres obigen Rechnenverfahrens haben wir wenigstens für einige der unserer Tiefenkarte beigefügten Profile die Planimetrierung ausgeführt. Wir erhielten als mittlere Tiefe für das Profil XVII 67,4 m und für das Profil XXIII 66,2 m. Auf rechnerischem Wege hatten wir aber gefunden: 67,5 m für XVII und 66,1 für XXIII, oder fast genau dasselbe. Ein hinreichender Beweis, daß unser obiges Verfahren gute Resultate liefert!

Wir bekommen für die einzelnen Profile folgende Mittelwerte*):

I	II	III	IV	V	VI	VII	[VIII]	IX
16,4	28,1	34,1	38,0	48,9	55,9	58,1	[63,6]	68,7
X	XI	XII	XIII	XIV	XV	[XVI]	XVII	XVIII
60,8	68,9	65,3	65,2	71,9	73,3	[73,8]	67,5	65,6
XIX	XX	XXI	XXII	XXIII	XXIV	XXV	XXVI	
70,9	66,7	73,1	67,2	66,1	59,0	29,8	19,4	

Diese Zahlen lehren uns, daß die größte mittlere Tiefe keineswegs mit der Maximaltiefe zusammenfällt. Das Profil XVII hat nur 67,5 m mittlere Tiefe und steht in der Reihe der Profile erst an 9. Stelle. Wir sehen aus den Zahlen deutlich, wie sehr die mittlere Tiefe von der Gestalt des gesamten Beckens abhängt. Je einförmiger dieses, um so größer ist im allgemeinen die mittlere Tiefe. Weiter zeigen uns die Zahlen auch eine große Gleichmäßigkeit trotz der wechselnden Breite des Beckens. Die mittlere Einsenkung bleibt von Profil IX an bis XXIII fast nahezu gleich, wenigstens wenn von Profil X abgesehen wird, in dem sich der flache Karpfenwinkel zu sehr geltend macht. Trotz der stetig zunehmenden absoluten Tiefe des Sees ändert sich seine mittlere kaum. Endlich veranschaulichen uns die Zahlen deutlich, wie das Becken sich von Süden weit langsamer vertieft als es zum Nordende ansteigt.

Denken wir uns die 24 Profile nun wieder in gleichen Abständen über den See verteilt und legen senkrecht dazu ein Längsprofil, so können wir dessen mittlere Tiefe nach der gleichen Formel wie oben berechnen.

Wir erhalten daraus den Wert 53,6 m, d. i. zugleich auch die mittlere Tiefe des ganzen Beckens. Wir bezeichnen sie mit T_2.

---

*) Die Profile VIII und XVI sind eingeklammert, weil sie bei der weiteren Berechnung aus den früher angegebenen Gründen nicht benutzt werden.

Digitized by Google

Das Produkt aus mittlerer Tiefe und Areal giebt uns das Volumen des Sees. Benutzen wir den Wert T_1, so ergiebt sich

$$V_1 = 3129 \text{ Mill. cbm},$$

führen wir dagegen den Wert T_2 in die Rechnung ein, so wird

$$V_2 = 3061 \text{ Mill. cbm}.$$

Das Volumen können wir nun auch direkt berechnen und daraus dann durch Division mit dem Flächeninhalte des Sees die mittlere Tiefe ermitteln.

Das Volumen des Sees erhalten wir annähernd auf rechnerischem Wege, wenn wir aus den oben mitgeteilten mittleren Tiefen der Profile die mittlere Tiefe der einzeln durch die Profile begrenzten Seeabschnitte ableiten, und den Inhalt dieser dann einfach als Produkt der Grundfläche mal der Höhe, d. i. die mittlere Tiefe, berechnen. Die einzelnen Flächen wurden mit Hilfe des Planimeters gemessen. Durch Summierung der einzelnen Seeabschnitte ergab sich das Volumen des ganzen Sees

$$V_3 = 3125 \text{ Mill. cbm}$$

und hieraus die mittlere Tiefe

$$T_3 = 54{,}8 \text{ m}.$$

Allen diesen Berechnungen liegen unmittelbar die thatsächlich gefundenen Tiefenwerte zu Grunde. Wir begeben uns auf ein etwas unsicheres Gebiet, wenn wir jene Rechnungsverfahren für die Volumenbestimmung anwenden, welche sich auf den Verlauf der Isobathen stützen; denn dieser ist doch nur nach Gutdünken bei dem Zeichnen konstruiert und weicht von dem wirklichen Verlaufe sicher oft erheblich ab. Wir dürfen daher auch diesen Rechnungen nicht den gleichen Wert beimessen.

Unter Benutzung der Isobathen haben wir zunächst das Volumen abgeleitet nach der Simpsonschen Formel, welche allgemein als die zuverlässigste angesehen wird.[2] Sie setzt voraus, daß das Becken durch Parallelschnitte in eine gerade Anzahl von gleich starken Schichten zerlegt ist. Ist h der Abstand und sind s_1, s_2 u. s. w. die Areale der begrenzenden Schnittflächen, so lautet die Kubierungsformel:

$$V = \frac{h}{3}\Big[s_1 + s_{2n+1} + 4\,(s_2 + s_6 + \ldots s_{2n}) + 2\,(s_3 + s_5 + \ldots s_{2n-1})\Big]$$

Digitized by Google

Im vorliegenden Fall ist n = 6 und die letzte Schnittfläche s_{18}, die von der 120 m-Isobathe begrenzt wird. Es bleibt also ein kleiner Kegel von 3 m Höhe von der Berechnung ausgeschlossen, den wir noch nachträglich dem Resultat zufügen müssen. Der Inhalt desselben ist gleich $\frac{h}{3} s_{18}$. Die Werte für s_n sind in der ersten Kolonne der Tabelle auf S. 57 enthalten. Das Resultat dieser Rechnung war

$$V_4 = 3032 \text{ Mill. cbm.}$$

Hieraus die mittlere Tiefe abgeleitet, ergiebt

$$T_4 = 53{,}1 \text{ m.}$$

Endlich haben wir noch das Volumen in der Weise ermittelt, daß wir die Flächen zwischen den Isobathen mit der mittleren Tiefe dieser multiplizierten und die Inhalte dieser cylindrischen Körper summierten. Wir bekamen

$$V_5 = 3030 \text{ Mill. cbm}$$

und daraus wiederum

$$T_5 = 53{,}1 \text{ m.}$$

Als Mittel der sämtlichen Werte ergiebt sich:

Volumen.	Mittlere Tiefe.
$V_1 = 3129$ Mill. cbm,	$T_1 = 54{,}8$
$V_2 = 3061$ „ „	$T_2 = 53{,}6$
$V_3 = 3125$ „ „	$T_3 = 54{,}8$
$V_4 = 3032$ „ „	$T_4 = 53{,}1$
$V_5 = 3030$ „ „	$T_5 = 53{,}1$
Mittel $V_m = 3075$ Mill. cbm.	$T_m = 53{,}9$

Schließlich haben wir auch noch die hypsographische Kurve konstruiert (Tafel VII). Wir erhalten diese, indem wir auf der horizontalen Achse eines rechtwinkligen Koordinatensystems die Areale der von den einzelnen Isobathen begrenzten Fläche und auf der vertikalen Achse die zugehörigen Tiefen der Reihe nach eintragen, dann in den Teilpunkten Senkrechte errichten und die Schnittpunkte dieser miteinander verbinden. Planimetrieren wir nun das von der hypsographischen Kurve und den Grenzkoordinaten umschlossene Areal und dividieren den erhaltenen Wert durch die Zahl der Längeneinheiten der horizontalen Achse, so bekommen wir die mittlere Tiefe in den Längeneinheiten, in denen die Isobathenabstände auf der vertikalen Achse eingetragen sind. Daraus ergab sich die mittlere Tiefe genau zu 54,0 m.

Digitized by Google

Wir begehen daher vermutlich nur einen sehr geringen Fehler, wenn wir abgerundet setzen:

$$\text{die mittlere Tiefe} = 54{,}0 \text{ m}$$

und demnach

$$\text{das Volumen} = 3100 \text{ Mill. cbm.}$$

Aus der Tiefenkarte von Geistbeck hatte Peucker die mittlere Tiefe zu 52 m, das Volumen zu 2910 Mill. cbm ermittelt, Werte, die nicht allzu erheblich von den unsrigen abweichen.[8] Es giebt das zu denken, wenn man beachtet, wie verschieden die Grundlagen für diese Berechnungen gewesen sind. Trotz der Ungenauigkeit der Geistbeck'schen Karte lieferte die darauf begründete morphometrische Berechnung annähernd gleiche Resultate wie die neue auf einer weit genaueren Tiefenkarte beruhende. Es lehrt das deutlich, wie wenig die morphometrischen Werte an sich die Beckenform eines Sees zu veranschaulichen vermögen; sie erhalten erst ihren rechten Sinn, wenn sie mit der Tiefenkarte selbst in Zusammenhang gebracht oder wenn sie durch Schilderung der Tiefenverhältnisse erläutert werden.

Das Verhältnis der mittleren Tiefe zur größten Tiefe ist 1 : 2,3, die mittlere Tiefe ist also nur 0,439 oder 44 % der Maximaltiefe. Im Vergleich zur Fläche des Sees erscheint sie ziemlich beträchtlich, die Seite eines dieser Fläche gleichen Quadrates übertrifft sie 140 mal; es verhält sich also

$$\text{Mittlere Tiefe}: \sqrt{\text{Areal}} = 1 : 140.$$

Das gleiche Verhältnis für die Maximaltiefe berechnet ergiebt 1:61.

Die der mittleren Tiefe entsprechende Isobathe dürfte annähernd gerade die Hälfte der Seefläche umschließen, wie wir aus der ersten Kolonne der hier beigefügten Tabelle entnehmen können.

Tiefe m	Areal der von den Isobathen eingeschl. Flächen s qkm	Länge der Isobathen l km	Tiefenstufe m	Areal zwischen 2 Isobathen $s_n - s_{n+1}$ qkm	Neigungswinkel von Isobathe zu Isobathe ‰	 0° und '
0	57,10	49,5	0— 10	8,80	54,0	3° 5'
10	48,30	46,5	10— 20	4,80	104,1	5° 56'
20	44,00	43,0	20— 30	5,70	72,8	4° 10'
30	38,30	40,2	30— 40	4,80	80,9	4° 37'
40	33,50	37,5	40— 50	4,20	87,1	4° 58'
50	29,30	35,7	50— 60	4,90	70,7	4° 2'
60	24,40	33,6	60— 70	4,20	75,9	4° 21'
70	20,20	30,2	70— 80	4,90	58,3	3° 20'
80	15,30	26,9	80— 90	3,70	64,9	3° 42'
90	11,60	21,1	90—100	4,70	39,5	2° 15'
100	6,90	16,0	100—110	3,40	38,8	2° 13'
110	3,50	10,4	110—120	3,43	16,6	0° 57'
120	0,07	1,0	120—123	0,07	14,3	0° 49'
	1	2		3	4	5

Digitized by Google

Mittlere Böschung.

Die erste Kolonne der obigen Tabelle giebt uns von 10 zu 10 m die Areale der von den einzelnen Isobathen eingeschlossenen Flächen. Wir sehen, daß diese zur tiefsten Isobathe ununterbrochen abnehmen, jedoch nicht stetig. Den Wechsel in der Abnahme veranschaulicht uns auch die Kolonne 3, welche die Flächen zwischen den einzelnen Isobathen wiedergiebt. Diese Areale nehmen oft um mehr als 1 qkm zu. Daraus müssen wir schließen, daß auch die Böschungen der einzelnen Stufen nicht gleich sind. Es zeigt uns das auch die hypsographische Kurve (Tafel VII), die keineswegs gleichmäßig zur größten Tiefe sich senkt.

Wir haben darum auch die mittlere Böschung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Isobathen genauer berechnet. Es ist diese mittlere Böschung

$$B_1 = \frac{h}{A_1} \frac{I_1 + I_2}{2},$$

wo A_1 das Areal der Fläche zwischen den beiden Isobathen und I_1 und I_2 die Länge dieser bedeutet, d. h. die mittlere Böschung ist gleich dem Produkte aus dem arithmetischen Mittel der Länge der begrenzenden Isobathen und ihrem Vertikalabstande, dividiert durch das Areal der betreffenden Tiefenstufe.[4]

Das Ergebnis der Rechnung ist in den Kolonnen 4 und 5 enthalten und zwar giebt 4 die Böschung in Werten pro Mille, 5 diese in Graden und Minuten an. Es wird außerdem auch noch durch die auf Tafel VII unseres Atlas wiedergegebene hypsoklinographische Kurve veranschaulicht. Diese ist in der Weise konstruiert, daß auf der horizontalen Achse eines rechtwinkligen Koordinatensystems die Areale der Isobathenflächen, auf der vertikalen Achse dagegen das Produkt aus dem Tiefenabstande und der Länge der Isobathen der Reihe nach abgetragen wurden. Die Fixpunkte der Kurve ergaben sich dann als die Schnittpunkte der einander zugehörigen Senkrechten, die in den Teilpunkten der Achsen errichtet wurden.

Schon die hypsoklinographische Kurve zeigt uns deutlich, daß die Größe der mittleren Böschungen von Stufe zu Stufe wechselt. Unsere Tabelle belehrt uns, daß der Unterschied mehr als 2° erreicht. Die größte Böschung finden wir zwischen der 10 und 20 m-Isobathe, sie erreicht 5° 56′, während von 0 bis 10 m der Winkel nur 3′ 5′ beträgt. Es prägt sich in diesem steileren Abfall von 10 m ab das Vorhandensein einer Terrasse aus, die wir auch nach dem Verlaufe der Isobathen auf der Tiefenkarte deutlich erkennen können. Der steilere Abfall zum Seegrunde beginnt häufig erst bei etwa 10 m.

Digitized by Google

Ein zweiter steilerer Abfall ist in der Stufe von 40 zu 50 m bemerkbar. Auch dieser kann bereits aus der Tiefenkarte herausgelesen werden. Die 40 und 50 m-Isobathen kommen sich wiederholt sehr nah.

Weiterhin nimmt die Böschung wieder ab und sinkt von 90 m an auf etwas mehr als 2°. Von dieser Tiefe an beginnt der flache Boden des Schwebes, der dann deutlich von 110 m an mit dem kleinen Böschungswinkel von 57' hervortritt.

Die Werte für die mittlere Böschung bestätigen demnach unsere auf Grund der Tiefenkarte gegebene allgemeine Charakteristik des Seebeckens.

Aus der Gesamtlänge der Isobathen können wir nach der Finsterwalder-Peucker'schen Formel nun leicht auch den mittleren Böschungswinkel der gesamten Grundfläche des Sees berechnen. Die Formel lautet:

$$B = \frac{h}{A} L,$$

wo h den Tiefenabstand der einzelnen Isobathen, A das Areal des Sees und L die Länge aller Isobathen, vermindert um die halbe Länge der höchst gelegenen, bedeutet. Wir bekommen

$$B = 64{,}2 \text{ pro Mille oder } 3^0\ 40'.$$

In der nachstehenden Tabelle haben wir die wichtigsten morphometrischen Werte des Würmsees noch einmal zusammengestellt und zum Vergleiche die entsprechenden Werte einiger anderer genauer vermessener und berechneter Seen beigefügt.[5]

	Würm-See	Genfer-See	Boden-See
Areal der Fläche . . . . . qkm	57,1	582,5	538,5
Länge, Luftlinie . . . . . km	19,9	63,4	69,0
Mittellinie des Sees km	20,5	72,3	75
Breitere, mittlere . . . . . km	2,8	8,1	7,2
Breite: Länge	1:7,3	1:8,9	1:10,4
Umfang	48,5	175,4	284,5
Grenzentwicklung	1,87	2,05	3,46
Insulosität	0,0003	0,000012	0,0097
Meereshöhe . . . . . m	584	372	395
Tiefe, grösste . . . . . m	128	310	252
mittlere . . . . . m	54	154	90
mittlere: grössten	0,439	0,498	0,357
Mittlere Tiefe: $\sqrt{\text{Areal}}$	1:140	1:160	1:260
Volumen Mille . . . . . cbm	3100	89 900 000	48 432 000
Mittl. Böschung pro Mille . . .	64,2	50,3	52,0
0°	3° 40'	2° 53'	3

Der Würmsee charakterisiert sich danach als ein sehr schmaler, verhältnismäßig tiefer See von geringer Gliederung mit großer mittlerer Böschung. Er gleicht in seinen morphometrischen Werten am meisten dem Genfer See.

Digitized by Google

Litteratur.

[1] Lingg, Über die bei Kimmbeobachtungen am Starnberger See wahrgenommenen Refraktionserscheinungen. (Nova Acta d. kl. Leop.-Carol. Deutsch. Akademie der Naturforscher. LV, 1.) Halle 1889.

[2] A. Penck, Morphologie der Erdoberfläche. Stuttgart 1894.

[3] Peucker, Europäische Seen nach Meereshöhe, Größe und Tiefe. (Geograph. Zeitschrift, II.) 1896.

[4] Finsterwalder, Über den mittleren Böschungswinkel und das wahre Areal einer topographischen Fläche. (Sitzungsber. d. math.-physik. Klasse d. kgl. bayer. Akademie d. Wiss. XX, 1.) 1890.

[5] A. Penck, Morphometrie des Bodensees. (Jahresber. d. Geogr. Gesellsch. in München.) 1894. — W. Halbfaß, Morphometrie des Genfer Sees. (Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkunde in Berlin. XXII.) 1897.

Die geologischen Verhältnisse.

Das Würmseegebiet ist im allgemeinen für eine geologische Untersuchung wenig geeignet. Große Flächen sind in Privatbesitz, eingehegt und als Gärten benutzt, andere von Wald oder Wiesen bedeckt. Aufschlüsse findet man nur an den Rändern der Thäler, am Ufer des Sees und in den Einschnitten der Straßen, Wege und Eisenbahnen. Aber auch die letzteren bieten oft nur für kurze Zeit einen Einblick in den Aufbau des Landes. In dem feuchten Klima und bei der Fruchtbarkeit des Bodens sind sie bald von Vegetation überwuchert. Bergbau wird nirgends betrieben. Nur in Kies- und vereinzelten Thon- und Lehmgruben finden sich einige Aufschlüsse. Die Kiesgruben bieten aber fast immer das nämliche Bild; denn sie werden nur dort angelegt, wo Kies vorhanden ist und dieser gehört meist der gleichen Bildung an.

Die geologischen Verhältnisse des Gebietes sind gleichwohl durch eine Reihe von Forschern, unter denen W. v. Gümbel, A. Penck und L. v. Ammon in erster Linie zu nennen sind, in umfangreicher Weise untersucht. Ihre ausführlichste Darstellung haben sie in der jüngsten Zeit durch Penck erhalten, der wohl als der beste Kenner des alpinen Diluviums angesehen werden muss.[1]

Der Verfasser hat im Jahre 1894 mehrmals Gelegenheit gehabt mit Penck die Gegend um den See zu durchwandern. Er ist so von dem erfahrenen Glacialforscher selbst in das dortige Diluvium eingeführt worden und hat zugleich dessen Ansichten über den geologischen Bau der Seeumgebung an Ort und Stelle kennen gelernt.

Pencks Wahrnehmungen sind in neuerer Zeit auch von anderen Geologen im allgemeinen bestätigt worden, so unter anderen von Albrecht Heim bei jener denkwürdigen Exkursion, welche die beiden

Digitized by Google

scharfen Gegner der Glacialerosion einen sollte, und in der jüngsten Zeit von L. v. Ammon in seiner ausführlichen Darlegung der Geologie der Gegend von München. Wir tragen daher auch kein Bedenken, unseren Ausführungen Pencks und Ammons Anschauungen zu Grunde zu legen, soweit sie nicht durch neuere Beobachtungen modifiziert werden müssen.

Zum besseren Verständnisse des geologischen Baues der Seeumgebung sind dem Atlas einige Profile und eine geologische Karte in 1:100000 (Tafel VI) beigefügt worden.*) Für das Gebiet nördlich des Sees hat uns Ammon in der erwähnten Arbeit eine geologische Karte in 1:250000 gegeben, die bis Tutzing-Ammerland reicht. Wer sich über das Gebiet südlich von dieser Linie bis zu den Alpen genauer unterrichten will, den verweisen wir auf das Blatt Werdenfels von Gümbels Geognostischer Karte des Königreichs Bayern und der angrenzenden Länder in 1:100000 und auf seine „Geologie von Bayern", in der sich auch eine geologische Übersichtskarte in 1:1000000 befindet.

Die Ablagerungen in der Seeumgebung.

Der Boden in der Umgebung des Sees wird vorwiegend von diluvialen Ablagerungen gebildet. Unter diesem tritt in den tieferen Einschnitten das Tertiär hervor. Es sind obermiocäne Thone, Mergel und Sandsteine, die in ihrer Gesamtheit als Flinz bezeichnet werden.

In der unmittelbaren Nähe des Sees ist das Tertiär nur an wenigen Punkten aufgeschlossen. Auf dem westlichen Ufer finden wir es südlich Tutzing in dem Thale des nördlich von Unterzeismering mündenden Baches. Das Gestein ist nach Ammon ein marmorierter sandiger Tegel oder grünlich-gelber, ziemlich fester Mergel, in dem mehrfach Wirbeltierreste gefunden sind. Gegenwärtig wird das Material in der Tutzinger Ziegelei verarbeitet.

Weiter ist das Tertiär auf dem westlichen Ufer noch nördlich von Tutzing am Ausgange des Kalkgrabens in einem kleinen Anschnitt unter verkittetem Schotter entblößt. Sodann finden wir es wieder bei Starnberg am Ausgange des Maisinger Baches, ebenfalls nur in einem kleinen Aufschlüsse, überlagert von geschichtetem Kies, auf dem Moränenschutt liegt. Auch hier tritt es als marmorierter Tegel auf.

Am Ostufer hat man das Tertiär bei Leoni an einigen Stellen am Gehänge unter verkittetem Schotter, sogenanntem Deckenschotter

*) Die geologische Karte ist in dem topographischen Bureau in München hergestellt worden, wofür wir dem jetzigen Direktor Herrn Oberst Heller auch an dieser Stelle unseren Dank aussprechen möchten.

Digitized by Google

bemerkt. Außerdem ist es in einzelnen Gräben zwischen St. Heinrich und Ambach entblößt.

Auch in weiterer Entfernung vom See begegnen wir nur in den Flußthälern Tertiäranschnitten. Am mächtigsten ist es aufgeschlossen am Loisachthal bei Beuerberg und in einigen Seitenthälern zwischen Beuerberg und Eurasburg. Bei Beuerberg ist es nach Schlosser bereits Molassenagelfluhe, die mit sandigen Mergel wechsellagert.[3] Weitere Tertiärfunde sind südlich des Sees am Ostersee und bei Nantesbuch gemacht. Von besonderer Wichtigkeit sind aber die Aufschlüsse nördlich des Sees. Hier finden sich bei Mühlthal dicht an der Würm und bei Leutstetten Aufschlüsse. Sodann sieht Ammon in dem großen Quellenreichtum nördlich von Leutstetten ein Anzeichen für die Nähe wasserundurchlässiger tertiärer Schichten. Vermutlich deutet auch der Quellenreichtum im kleinen Maisinger Bach bei Starnberg oberhalb der Fischzucht auf die Nähe des Tertiärs hin. Nach diesen Funden ist anzunehmen, daß im allgemeinen überall in der Umgebung des Sees das Diluvium unmittelbar auf obermiocänen Schichten lagert, deren oberes Niveau den Seespiegel noch ein wenig überragt, sodaß das Seebecken selbst ganz in das Tertiär eingegraben zu sein scheint.

Über den oberen Horizont des Tertiärs können genauere Angaben jedoch nicht gemacht werden, weil es nur an wenigen Stellen aufgeschlossen ist. Im allgemeinen senkt sich das Tertiär von Süden nach Norden zu beiden Seiten des Sees.

Das Diluvium in der Seeumgebung setzt sich aus Schottern und Glacialschutt, Moränen, zusammen. Die Schotter weichen in ihrer petrographischen Beschaffenheit nicht sehr von einander ab, sind aber doch Bildungen ganz verschiedenen Alters.

Zum besseren Verständnisse der nachfolgenden Ausführungen fügen wir hier eine schematische Zusammenstellung der diluvialen Ablagerungen in dem nordalpinen Vorland ein, die wir der Arbeit L. v. Ammons entnehmen:

Abteilungen der Diluvialformation	Glacialablagerungen	Fluvioglacial	Lehmbildungen	Zeitliche Vorgänge
Oberes Pleistocän	Innere Moränen	Niederterrassenschotter		Letzte (jüngere) Vergletscherung.
			Löss u. Lehm	Jüngere Interglacialzeit.
Mittleres Pleistocän	Äussere Moränen	Hochterassenschotter		Vorletzte (alte) Vergletscherung.
			Älterer Lehm	Ältere Interglacialzeit.
Unteres Pleistocän		Deckenschotter		Erste (älteste) Vergletscherung.

Diese drei diluvialen Abteilungen sind in der Umgebung des Sees durch Ablagerungen vertreten. Der Deckenschotter des unteren

Digitized by Google

Pleistocän ist an vielen Punkten, namentlich in den tiefen Thaleinschnitten aufgeschlossen. Außerdem finden wir ihn am östlichen Steilufer sowie längs der Bahn im Westen des Sees.

Hier im Westen tritt der Deckenschotter zunächst bei Tutzing im Kalkgraben und an dem Bahneinschnitte nördlich von Tutzing hervor. Weiter beobachten wir ihn bei Starnberg am Schloßberg und im Thal des kleinen Maisinger Baches bei der Fischzucht, außerdem östlich davon in der Maisinger Schlucht. Endlich ist der Deckenschotter noch unterhalb des Sees längs der Bahn vor Station Mühlthal aufgeschlossen. Auch das Thal der Würm schneidet in Deckenschotter ein.

Auf der Ostseite begegnen wir erst nördlich von Leoni bei Berg größeren Aufschlüssen von Deckenschotter am Seeufer. Hier bildet er zum Teile die steilen Abhänge. Er dehnt sich hier offenbar bis zum Isar- und Loisachthal aus; denn an dem Rande dieses tritt er wieder mehrfach hervor.

Vielfach ist der Deckenschotter oberflächlich freigelegt. An solchen Stellen ist er häufig abgeschliffen und geglättet. Penck hat derartige Gletscherschliffe längs der Bahn nördlich von Tutzing und zwischen Starnberg und Mühlthal nachgewiesen. Am bekanntesten ist aber der Gletscherschliff auf dem Deckenschotter im Dorfe Berg, der als ein Muster der schleifenden Kraft eines Gletschers gelten kann. Er ist seiner Schönheit wegen von der Sektion München des Deutschen und Österr. Alpenvereins auf eine größere Strecke freigelegt und dem Publikum zugänglich gemacht. Eine Abbildung davon findet sich in dem bekannten Werke „Scenerie der Alpen" von Ehrhard Fraas.

In den Schlifflächen haben wir wohl die obere Grenze des Deckenschotters anzunehmen. Ob aber diese sich in gleicher Höhe unter den jüngeren Ablagerungen fortsetzt, ist zweifelhaft. In Anbetracht der wenigen Aufschlüsse der oberen Grenze des Deckenschotters halten wir weitere Schlüsse über deren Verlauf nicht für zulässig, ebenso wie ja auch die untere Grenze unbestimmbar ist.

Der Deckenschotter ist fast immer ein festverkittetes Konglomerat von Geröllen. Die Gerölle sind vorwiegend Kalksteine; krystallinische Gesteinstücke sind selten. Das Bindemittel ist eine kalkig-mergeliche Masse. Vielfach sind die Gerölle bereits stark verwittert. Spuren starker Verwitterung findet man namentlich an der Oberfläche; hier zeigt sich auch häufig Orgelbildung.

Von dem mittleren Pleistocän sind Ablagerungen in der unmittelbaren Umgebung des Sees nicht vorhanden. Wir stoßen erst auf sie außerhalb des eigentlichen Seebeckens, bei Mühlthal und überhaupt

Digitized by Google

im Norden des hohen Walles, der das Seebecken abschließt. Hier lagert sowohl die äußere Moräne wie auch der Hochterrassenschotter.

Dieser Schotter ist gekennzeichnet durch die Häufigkeit krystallinischer Gerölle, sowie durch stärkere Verwitterung. Er ist zuweilen, aber nur selten zu einer Nagelfluh verkittet. Daß er jünger als der Deckenschotter ist, ergiebt sich daraus, daß er bereits Rollstücke aus diesem enthält. Oberflächlich ist der Hochterrassenschotter häufig von Verwitterungslehm bedeckt; über diesen breitet sich Niederterrassenschotter oder auch Löß aus.

Wir finden den Hochterrassenschotter bei Mühlthal an der Bahn südlich der Station überlagert von jüngerer Moräne und im Thale an der Karlsburg überlagert von jüngerem Schotter. Weiter tritt dieser Schotter noch bei Wangen im Osten des Sees auf. Hier hat er offenbar eine größere Ausbreitung, ist aber meist von Lehm und Löß bedeckt.

Östlich und westlich von Mühlthal stoßen wir auch auf die äußere Moräne, die zuweilen unmittelbar in die jüngere, innere Moräne übergeht.

Diese innere Moräne und der gleichzeitig abgelagerte Niederterrassenschotter bilden hauptsächlich die oberste Decke in der Umgebung des Sees. Der Würmsee liegt ganz und gar in den Ablagerungen der letzten Vergletscherung.

Der Niederterrassenschotter zeigt schon in dem äußeren Aussehen sein junges Alter an. Die Gerölle sind noch kaum von der Verwitterung angegriffen. Deckenschottergerölle sind nicht selten. In der Nähe der Moränen, also auch in der Umgebung des Würmsees findet man in ihm geschrammte und gekritzte Gerölle. Außerdem weist der Schotter dort häufiger größere Gesteinsstücke auf. Von der eigentlichen Moräne ist er nicht immer leicht zu scheiden und geht wohl auch ganz in diese über. Gerade in der Umgebung des Sees sind solche Moränenablagerungen häufig; sie erscheinen als eine durch Wasser umgelagerte Moräne.

Am See ist der Niederterrassenschotter mehrfach aufgeschlossen. Meist sind in ihm Kiesgruben angelegt. Eine solche Grube befindet sich am Ostufer, südlich des Schlosses Seeburg. Auch die Kiesgruben an der Straße von Percha nach Farchach liegen offenbar im Niederterrassenschotter. In allen Fällen ist der Schotter überdeckt von Moräne.

Außerhalb des Moränenwalles, der das Becken des Sees umrahmt, breitet sich der jüngere Schotter zu einer breiten Hochfläche aus, auf der auch die Stadt München liegt. Die Moränen gehen nach außen oft unmittelbar in den Schotter über, den wir als das Haupt-

Digitized by Google

schwemmaterial der Gletscher der letzten Eiszeit zu betrachten haben. Sicher ist dieses Material aber auch innerhalb der jüngsten Moränen zur Ablagerung gekommen, dann aber meist von dem Moränenschutt des darüber gleitenden Gletschers überdeckt worden.

Auch während des Rückganges der Gletscher hat zweifellos noch in den Flüssen und Bächen, die zeitweise sehr wasserreich gewesen sein dürften, ein lebhafter Gesteinstransport stattgefunden, woraus sich manche der Ablagerungen erklären, die wir oben als umgelagerte Moränen bezeichnet haben.

In diese Zeit fallen vermutlich auch die deltaartigen Ablagerungen, die wir im Süden des Sees bei Seeshaupt vorfinden. Sie sind nicht von Moränenschutt überlagert, zeigen aber oft Spuren von Moränenschutt, gekritzte Geschiebe und Mergel.

Der jüngere Glacialschutt ist also die oberste Decke des Bodens in der Umgebung des Sees und wahrscheinlich auch zu einem großen Teile im Bereiche des Sees selbst. Die Moräne überkleidet alle Unebenheiten des Geländes; wir finden sie auf den Höhen zu beiden Seiten des Beckens wie auch in allen Thalmulden. Bis an den Rand des Sees läßt sie sich verfolgen. Sie reicht aber auch unter das Wasser. Bei niedrigem Wasserstand, wie z. B. im Sommer 1899, kommt sie vielfach an flachen Ufern zum Vorschein.

Für die Fortsetzung des Moränenschuttes unter dem Seespiegel spricht auch noch eine andere Thatsache, nämlich die Gestalt des Seebeckens. Die jüngere Moräne ist nicht nur die oberste Gesteinsdecke in der Umgebung des Sees, sondern giebt auch dem Gelände seine charakteristische Form; durch ihre Ablagerung entstanden die zahlreichen elliptisch geformten, sich überall gleichenden Hügel. Charakteristisch an diesen ist, wie wir bereits hervorgehoben haben, der terrassenförmige Abfall zum See hin, während sie nach der anderen Seite meist gleichmäßig sich abdachen.

Diese typische Form des Geländes setzt sich nun auch unter dem Seespiegel fort, wie die Tiefenkarte und noch mehr die Profile zeigen. Es ist auf Grund dessen wohl die Annahme berechtigt, daß wir es auch dort mit Ablagerungen der Moräne zu thun haben. Man wird um so weniger Bedenken gegen diesen Schluß hegen, als auch einzelne Hügel vom Seegrund sich erheben, die den Moränenhügeln am Lande durchaus gleichen.

Diese Moränenhügel begleiten in Reihen aneinandergeordnet den See in seiner Längsrichtung, sie bilden ausgedehnte Hügelzüge mit vorwiegend nordsüdlicher Erstreckung. Auch bei dem einzelnen Hügel ist die längere Achse parallel zur Längsachse des Sees gerichtet. Diese Parallelität ist so ausgeprägt, daß wir auf dem Lande

Digitized by Google

sogar die kleinen Richtungsänderungen wiederfinden, welche der See aufweist. Vom Karpfenwinkel an wenden sich die Moränenzüge wie der See mehr nach Nordosten. Westlich des südlichen Seeteiles erstrecken sich dagegen die Hügel mehr nach Nordwesten, etwa in der Richtung des Seeufers nördlich Bernried.

Die Moränenhügel sind wiederholt in Kiesgruben angeschnitten. Ihr Kern besteht meist aus Kies, Sand und Mergel, welche wechsellagernd auftreten. Es ist also eine geschichtete Ablagerung, welche auf Mitarbeit des fließenden Wassers deutet. Ihre Zugehörigkeit zur Moräne geht aus dem Vorhandensein zahlreicher gekritzter Geschiebe deutlich hervor. Oft möchte man aber geneigt sein, den Kern für Niederterrassenschotter zu erklären, da der Gesteinschutt diesem außerordentlich gleicht.

Aus derartigen geschichteten Ablagerungen bestehen auch die sogenannten Drumlins im Südwesten des Sees; sie scheinen somit vorwiegend fluvioglacialen Ursprungs zu sein.

Ob der Kern aller Moränenhügel die gleiche Zusammensetzung hat, ist natürlich zweifelhaft. Oft besteht er vermutlich aus Niederterrassenschotter, wie einzelne Kiesgruben lehren. Die Schotter sind dann nur von einer dünnen Moränendecke überkleidet. Auch der Aufschluß von Niederterrassenschotter südlich Schloss Seeburg trägt nur eine verhältnismäßig wenig mächtige Moränendecke.

Im nördlichen Seengebiet dürfte der Kern der Hügel auch oft Deckenschotter sein. Darauf deutet wenigstens das hohe Aufragen des Deckenschotters bei Berg und bei Starnberg. Hier ist der Deckenschotter ebenfalls nur dünn von Moränenschutt überlagert. Die Hügelzüge erscheinen darum z. T. weniger als Gebilde der letzten Glacialschuttablagerung, vielmehr muß man wohl annehmen, daß die nordsüdliche Richtung im Gelände bereits vorhanden war, noch ehe der Gletscher heranrückte.

Die Moränenablagerungen finden nach Norden hin ihren Abschluß in dem großen Endwalle, der in einem zusammenhängenden Bogen das lange Becken des Sees umzieht und so ein echtes Moränenamphitheater bildet.

Der große Wall ist die Endmoräne der letzten Vergletscherung. Er tritt im Norden des Sees deutlich hervor. Wir können ihn verfolgen vom Isarthale bei Schäftlarn an. Dort verläuft er zunächst nach Süden, um sich bald wieder nach Norden zu wenden. In großem Bogen biegt er dann nach Westen um. Zwischen Leutstetten und Mühlthal wird er von der Würm in einem tiefen Thale durchschnitten. Westlich des Würmthales ist die Endmoräne wieder nach

Digitized by Google

Süden gerichtet, biegt jedoch abermals nach Westen um und vereinigt sich schließlich mit den Moränenwällen, die den Ammersee östlich begleiten.

Bildungsgeschichte der Seeumgebung.

Aus diesen geologischen Befunden ergiebt sich die Bildungsgeschichte des Geländes um den See. In dem Deckenschotter haben wir einen alten Schotter vor uns, das fluvioglaciale Anschwemmungsmaterial einer früheren Eiszeit. Wie weit sich damals der alpine Gletscher ausbreitete, ist noch ungewiß, denn die zu jener Vergletscherung gehörigen Moränen sind noch nicht mit Sicherheit aufgefunden. Da der Deckenschotter an seiner Oberfläche Spuren starker Verwitterung zeigt und er außerdem vielfach von Lehm überdeckt wurde, so muß jener alten Gletscherperiode eine längere Interglacialzeit gefolgt sein. Es rückte dann aber von den Alpen ein neuer Eisstrom vor, der sich weit nach Norden über die bayerische Hochebene ausbreitete und dessen Schutt in den sogenannten äußeren oder älteren Moränen und in dem Hochterrassenschotter uns engegentritt. Dieses fluvioglaciale Gebilde füllte zum Teil die Thalsenken im Deckenschotter aus, breitete sich aber auch als ausgedehnter Schuttkegel über ihn hinweg. Wieder beginnt eine längere Interglacialzeit; denn der Hochterrassenschotter ist ebenfalls stark verwittert und von Lehm und Löß überlagert. Es folgte hierauf die letzte jüngere Eiszeit, deren Spuren uns am deutlichsten erhalten sind. Es brach aus dem Satteleinschnitte des Kesselberges der Isargletscher hervor, der nach Norden bis Mühlthal vordrang und sich seitlich bis zum Lechgletscher im Westen und Inngletscher im Osten ausdehnte. Im Bereiche dieser jüngeren Vergletscherung liegt der Starnberger See. Ihr gehören die sogenannten inneren Moränen an. Sie erstrecken sich, wie wir gesehen haben, nicht soweit wie die äußeren Moränen nach Norden, aber sie sind noch überall vollkommen erhalten und haben der Landschaft jenes typische Aussehen verliehen, das alle Moränenlandschaften kennzeichnet. Gleichzeitig und namentlich vor ihrer größten Ausbreitung wurde der Niederterrassenschotter abgelagert, das fluvioglaciale Gebilde der jüngeren Eiszeit, das sich nach außen unmittelbar an die Endmoränenwälle anschließt. Der Niederterrassenschotter bildet ebenfalls einen mächtigen flachen Schuttkegel, der auch die Schotterebene von München angehört. Auch er wurde, wie ein Aufschluß bei Mühlthal beweist, in den Senken und Mulden des älteren Schotters abgelagert, glich also diese vermutlich vollkommen wieder aus.

Digitized by Google

Abtragung und Ablagerung erreichten mit dem Rückgang dieses letzten Gletschers nicht ihr Ende, sondern setzten sich bis in die Neuzeit fort, vermutlich aber vielfach in anderen Thalbetten als zuvor. Dafür sprechen die vielen toten Thalstrecken, die wir im bayerischen Hochlande finden, die auffallenden Ablenkungen der Flüsse, die zuweilen, wie z. B. die Loisach, ihren eigentlichen Thalweg verlassen und jetzt in einem Querthal einem anderen Thalwege zufließen, und endlich das Vorhandensein der großen Seebecken, die sonst hätten wieder ausgefüllt werden müssen.

Spuren tektonischer Veränderungen.

Die Veränderung der Flußsysteme in der bayerischen Hochebene scheint zunächst eine unmittelbare Folge der Ablagerung der letzten Gletscher zu sein. Der Glacialschutt dämmte die alten Thäler ab und während des Rückganges der Gletscher entstanden neue Thalwege. Allein man sollte dann annehmen, daß gerade die Hauptgewässer doch den bedeutendsten Gletscherbetten gefolgt wären. Das ist aber nicht der Fall, wie uns allein schon der Würmsee und der Ammersee lehren. Wir werden dadurch noch auf eine andere Vermutung gedrängt, daß nämlich tektonische Vorgänge die Ursache der Ablenkung der Stromsysteme sind. Die Neigung der bayerischen Hochebene hat sich infolge einer Krustenbewegung geändert, die Flüsse haben dadurch ihr ursprüngliches Gefälle verloren, sind von ihrem Quellgebiete abgeschnitten und so zu toten Thälern umgewandelt, oder vielfach auch seitlich abgelenkt worden.

Es fragt sich freilich, ob eine solche posttertiäre Krustenbewegung aus irgend einer geologischen Thatsache geschlossen werden kann. Das Tertiär ist zweifellos noch bis weit in die Ebene hinein einer geringen Faltung unterworfen gewesen. Penck glaubt nun zwischen Würmsee und Ammersee auch in den diluvialen Ablagerungen schwache Falten nachweisen zu können.[4] Er gründet seine Behauptung auf die verschiedene Neigung des Deckenschotters längs des Sees. Thatsächlich scheint nach den vorhandenen Aufschlüssen der Deckenschotter von Mühlthal bis Starnberg steiler anzusteigen als zwischen Starnberg und Tutzing, wo er nahezu horizontal bleibt, um dann aber von Tutzing an wieder unter einem etwas größeren Neigungswinkel sich zu erheben (Tafel V). Doch wir halten in Anbetracht der vereinzelten Aufschlüsse, die wir haben, den Schluß für gewagt und verfrüht. Wenn man bedenkt, welchen Umwandlungen die Oberfläche der Tertiär- und Glacialablagerungen noch nach ihrer Bildung ausgesetzt gewesen sein muß, so wird man

Digitized by Google

kaum auf Grund vereinzelter Aufschlüsse auf die allgemeine Neigung der Ablagerungen Schlüsse ziehen dürfen.

Dagegen giebt uns vielleicht eine andere Thatsache mehr Recht, eine Krustenbewegung für das Alpenvorland anzunehmen. Es ist die Thatsache, daß die Hochebene bis zu den äußeren Moränen einen viel schnelleren Anstieg zeigt als von diesen an bis zu dem Fuße des Gebirges. Näher dem Gebirge hat freilich auch die Erosion seit der Eiszeit stärker gearbeitet, allein die Eintiefung ist längs des Gebirges eine so auffallende, daß man geradezu zu der Annahme hingedrängt wird, daß hier eine Senkung stattgefunden hat. Nachdem Heim für die Schweizer Alpen eine solche posttertiäre Senkung des Alpengebirges ganz zweifellos nachgewiesen hat[5], liegt ja der Gedanke auch nicht fern, daß eine gleiche Senkung nach der Vollendung der Alpenauffaltung auch in dem deutschösterreichischen Gebiete stattgefunden hat. Direkte Beweise für eine solche Bewegung sind allerdings nicht vorhanden; aber sie erklärte am einfachsten die Umgestaltung des Entwässerungssystems der bayerischen Hochebene. Zugleich wird unter einer solchen Annahme auch das geringe Zuflußgebiet einzelner Seen, wie z. B. des Würmsees, begreiflich. Wir hatten oben darauf hingewiesen, von einem wie kleinen Gebiete der Würmsee das Sammelbecken ist. Hier wäre der Schlüssel dafür gegeben. Nach dem Rückgange des Gletschers waren die Gefällsverhältnisse völlig verändert und der einstige Zufluß wurde dem nun verlassenen Gletscherbett entzogen.

Ein bedeutend stärkerer Zufluß zu dem See muß sicher noch während des Rückganges des Gletschers vorhanden gewesen sein; es muß ein wasserreicher Strom ihm zugeflossen sein, der in dem damals erheblich größeren See das Delta aufbauen konnte, das wir am oberen Ende bei Seeshaupt heute finden. Gegenwärtig fehlt in dem Gelände jede Spur eines solchen Stromes.

Die glacialen und postglacialen Umbildungen.

Die jüngeren Umgestaltungen des Geländes in der Umgebung des Sees durch Erosion und Ablagerung sind im allgemeinen sehr gering. Die zahlreichen kleinen Zuflüsse haben nur vereinzelt tiefe Schluchten in die Höhenzüge eingegraben. Das östliche Gehänge entbehrt fast ganz solcher Erosionsfurchen. Nur östlich von St. Heinrich treten sie auf. Auf dem Westufer finden wir dagegen mehrere tiefe Erosionsfurchen, die durch den Deckenschotter bis zum Tertiär reichen, bei Tutzing und dann bei Starnberg. Alle diese Bäche haben auch, soweit sie direkt in den See münden, an ihrer Mündung kleine

Digitized by Google

Deltas aufgebaut. Ihre Schluchten sind aber sicher sehr junge Bildungen, die zeitlich auch noch ganz der postglacilen Periode angehören.

Auch der Ausfluß des Sees, der durch einen tiefen Einschnitt in den Erdmoränenwall erfolgt, ist sicher verhältnismäßig jugendlichen Alters. Wir können das aus der geringen Breite der Schlucht wohl schließen.

Die postglacialen Veränderungen in der Umgebung des Sees sind nach alledem vermutlich sehr unbedeutend. Aller Wahrscheinlichkeit nach liegt das Land fast ganz so vor, wie es der Gletscher verlassen hat. Dieser hat ihm die eigenartige Gestalt gegeben, er hat durch seine Ablagerungen zahlreiche Hügel geschaffen und bei seinem Vorwärtsgleiten den vorhandenen Boden abgeschleift und umgearbeitet. Dadurch sind jene charakteristischen Terrassen entstanden, die uns bei der Wanderung am See so auffallen. Es scheint, daß der Gletscher, der in seiner größten Ausdehnung selbst die höchsten Höhen überdeckte, allmählich erst diese Mächtigkeit erlangte und daher in ostwestlicher Richtung sich immer mehr ausbreitete. Ähnlich mag auch sein Rückgang sich vollzogen haben. Zuerst wurden die Höhen eisfrei, während im Becken noch Eis lag, das sich noch nordwärts bewegte. Der Rückgang geschah etappenmäßig. In den Zeiten größeren Stillstandes lagerte der Gletscher noch seitlich Moränen ab, die nun stufenförmig aufeinander folgten. Die vom See abgewendeten Gehänge der Moränenwälle erhielten einen sanften, die zum See, also damals nach dem Gletscher hin gerichteten, einen steilen Abfall. Aus dem Becken selbst zog sich der Gletscher gleichförmig zurück; nirgends zeigt die mittlere Rinne eine Anschwellung, welche als Endmoräne während seines Stillstandes im Rückzuge gedeutet werden könnte.

Auch die zahlreichen vereinzelten Moränenhügel, die Drumlins, wurden bereits in dieser Zeit gebildet. Auf Grund der Thatsache, daß diese in ihrem Kern mehr einen fluvioglacialen Charakter zeigen, möchten wir annehmen, daß sie mittelbar erst durch den Gletscher geschaffen sind. Da sie von echten Moränen überkleidet sind, so müssen sie vom Gletscher überdeckt gewesen sein und eventuell also unter diesem sich gebildet haben. Sieger führt ihre Entstehung auf eine subglaciale Erosion zurück.[6] Uns scheint in Uebereinstimmung mit Früh diese Annahme nicht genügend begründet. Von einer so mannigfaltigen subglacialen Erosion, wie sie hier bestanden haben müßte, wissen wir nichts. Wir möchten darum eher vermuten, daß die Drumlins in ihrer Anlage bereits vor dem Gletscher oder gleichzeitig mit dessen Anrücken geschaffen wurden. In dieser

Digitized by Google

Zeit ist das Land vor dem Gletscher sicher von großen Mengen Wasser durchströmt worden, das mit dem lockeren Schottermaterial, das hier abgelagert wurde, zahlreiche Senken und Hügel bildete. Der nachrückende Gletscher überschritt die Anhöhen und senkte sich gleichzeitig in die Furchen ein, weitete diese aus und rundete die Schotterrücken ab. Vermutlich breitete sich der Gletscher in der Ebene auch mehr seitlich aus, wodurch die Bildung solcher Hügel noch verständlicher wird. Die ganze Drumlinslandschaft macht den Eindruck einer zerstückelten Schotterfläche, eines Erosionshügellandes.

Daß sich solche Bildungen nur an einzelnen Punkten des Glacialbodens finden, dürfte seine Erklärung, wie auch Früh andeutet, in den Gefälls- und Strömungsverhältnissen finden. Die Drumlins in der Umgebung des Würmsees liegen gerade dort, wo vermutlich der Isargletscher in seiner seitlichen Ausbreitung durch den kräftig vordringenden Ampergletscher behindert wurde. Es mag hier ein Gebiet starker Wassererosion und Schuttablagerung gewesen sein.

Ist unsere Anschauung über die Entstehung der „Drumlins" richtig, so kann man aus dem Vorhandensein der zahlreich stehen gebliebenen Hügel in der Bahn des Gletschers nur schließen, daß dessen abtragende Kraft im Bereiche des Sees nicht bedeutend gewesen sein kann, sonst hätte er die aus lockerem Materiale aufgebauten Unebenheiten wohl aus dem Wege geräumt. Der Gletscher schmiegte sich aber ganz den vorhandenen Formen des Geländes an und rundete diese nur ab, sodaß jene charakteristische sanftwellige Landschaft entstand, die wir eben als Moränenlandschaft bezeichnen.

Gegen eine solche geringe Erosionsthätigkeit des Gletschers scheint allerdings die Thatsache zu sprechen, daß der Deckenschotter überall, wo er von der Moränendecke befreit ist, abgeschliffen sich zeigt. An dem Aufschluß in Berg sind die einzelnen Geröllstücke mitten durchgeschnitten. Hier muß also der Gletscher in der That noch eine größere Bewegung und Kraft besessen haben. Indes man darf nicht vergessen, daß er diese Arbeit offenbar leistete, als er seine größte Mächtigkeit erreicht hatte und auch die Höhen überdeckte. Vielleicht hat er gerade bei dem Vorrücken bis zu seiner größten Ausdehnung die Arbeit des Schleifens ausgeführt. Sodann ist zu beachten, daß er während der ganzen Dauer seines Bestehens doch auch nicht mehr geleistet hat als jene Schlifflächen. Ob er den Deckenschotter stark abgetragen hat, wissen wir nicht; es liegt aber gar kein Grund vor, es anzunehmen. Endlich muß sich selbst die geringste erodierende Kraft auf einem festen Untergrund in ganz

Digitized by Google

anderer Weise zeigen als im lockeren. Auch das fließende Wasser bearbeitet den festen Fels in äußerlich viel merkbarer Form als den lockeren Boden. Den Felsen glättet das Wasser in Verbindung mit dem mitgeführten Gerölle, den lockeren Kies überströmt es oft ohne erhebliche Wirkung.

Das Landschaftsbild ist auch seit dem Rückgange des Gletschers nur wenig verändert. Fließendes Wasser, das größere Umgestaltungen hätte hervorrufen können, war nicht vorhanden. Wo es zur Arbeit kam, hat es infolge seiner geringen Masse auch nur geringes geleistet. Nur durch das stehende Wasser sind einige Veränderungen bewirkt. In allen Mulden, die der Gletscher zurückließ, sammelte sich das Wasser an. So sehen wir noch heute die große Seefläche umschwärmt von einer großen Zahl kleiner Seen. Die Becken waren aber vielfach ganz flach. Infolgedessen wandelten sich die einstigen Seen bald in Moore um. Solche treffen wir heute überall in den Senken des Landes zwischen den Moränenhügeln. Sie gleichen die einstigen Unebenheiten des Landes aus und schaffen völlig ebene Flächen, wo zuvor der Boden sanfte Mulden zeigte.

Die jüngeren Bildungen im Bereiche des Seebeckens.

Auch im Bereiche des Sees selbst sind die recenten Umbildungen nur gering. Abtragungen durch Wind und Wellenschlag sind nur am östlichen Ufer in größerem Umfange bemerkbar. Hier findet sich im nördlichen Teile, wo die steilen Gehänge bis dicht an den See heranreichen, die an Seen so häufig auftretende Uferform: steiles Gehänge am Lande, dann ein schmaler, teilweise überschwemmter, ganz flachgeneigter Boden und wieder steiler Abfall im Wasser. Es ist die Arbeitsleistung von Wind und Wellenschlag, der breite Flachboden eine echte Abrasionsfläche. Nur vereinzelt begegnen wir dieser Uferform auch auf der Westseite des Sees. Hier taucht das Land meist ohne jede Veränderung in das Wasser ein. Umänderungen des Geländes sind hier allerdings auch schwer nachweisbar, weil überall der Boden von Vegetation bedeckt ist und zu einem großen Teile als Garten gepflegt und bearbeitet wird.

Die Thätigkeit der brandenden Wellen am Ufer ist nach den Beobachtungen des Verfassers eine abtragende und eine aufschüttende zugleich. Im allgemeinen wiegt die erstere bei hohem, die zweite bei flachem Wasserstande vor. Doch schüttet die Brandung auch bei hohem Wasserstande Schutt und Sand auf, wenn der Strand flach ist.

Der Gegensatz der Wirkung der Wellen am Ufer bei verschiedenem Wasserstande trat deutlich in den Jahren 1896 und 1899

Digitized by Google

hervor. 1896 war der Wasserstand im Sommer außerordentlich hoch; überall waren die Ufer überschwemmt und an einzelnen Stellen völlig vom Wasser fortgespült. Im Sommer 1899 hatten wir dagegen einen sehr niedrigen Wasserstand, infolgedessen lagen große Streifen des Seebodens trocken. Am Rande der Wasserfläche war damals fast überall ein kleiner Wall von Kies und Sand aufgeworfen, der auch den stärkeren Wellen dauernd Widerstand zu leisten vermochte.

In Seen mit stark wechselndem Wasserstande muß demnach die erodierende Wirkung der Wellen eine ganz andere sein als in solchem mit gleichmäßigem Niveau. Der Würmsee gehört zu diesen letzteren und zeigt darum am Ufer auch nur wenig Spuren einer Brandung.

Die Anschwemmungen am Ufer sind sehr gering und vereinzelt. Viele der Bäche haben Deltas an ihrer Mündung in den See gebaut. Wo wir die oben erwähnten Abrasionsflächen haben, findet sich am Rande nach dem See zu zuweilen ein Schuttkegel. Ferner treibt an seichten Stellen, wie z. B. in St. Heinrich, der Wellenschlag Sand und Mergel dem Ufer zu. Aber im allgemeinen haben diese Bildungen die Form des Seebeckens kaum verändert.

Da das Ufergelände überall dicht mit Vegetation bedeckt ist, so fehlen auch die Staubwehungen, die wir an den Seen des baltischen Höhenrückens häufig bemerken können. Staubwolken treten selbst im trockensten Sommer in der Umgebung des Würmsees nicht auf. Das Wasser des Sees wird daher auch niemals durch eingewehten Staub erheblich getrübt. Nur die einmündenden Bäche führen nach starkem Regen vorübergehende Trübungen herbei. Auch bei heftigem Winde, der starken Wellenschlag hervorruft, nehmen wir nahe dem vom Winde getroffenen Ufer Trübungen des Wassers wahr; es ist der aufgewirbelte Grund, der sie verursacht.

Eine wesentliche Änderung hat der Würmsee in jüngerer Zeit nur dadurch erfahren, daß sein Spiegel erheblich tiefer gelegt ist. Verursacht ist diese Senkung des Wasserniveaus zweifellos durch die stete Vertiefung der jetzigen Abflußrinne, die erst nach Bildung des Seebeckens entstanden ist.

Der Betrag der Senkung läßt sich annähernd noch aus der Höhe des großen Deltas bei Seeshaupt ermitteln. Dieses ragt etwa um 10 m über den Seespiegel auf. Da es aber sicher selbst noch von Wasser überflutet war, so dürfte seit dem Aufbaue jenes Deltas der See etwa um 11—12 m gesunken sein. Es war das vermutlich der Stand des Wassers zur Zeit des Rückganges des Gletschers.

Damals war die Wasserfläche eine wesentlich größere. Sie reichte im Norden bis an den Endmoränenwall. Im Süden dehnte sich der

Digitized by Google

See noch bis zu den Osterseen hin aus und bedeckte auch die großen Filze bei Staltach. Nach Westen und Osten konnte er sich jedoch nur wenig ausbreiten, da er auf diesen Seiten unmittelbar von höheren Gehängen begleitet wird. Nur im Karpfenwinkel finden wir flaches Ufer, das damals noch weit in das Land hinein überspült wurde.

Die Gestalt des Sees war also trotz der größeren Längserstreckung nur wenig verändert. Im großen und ganzen ist die Form dieselbe geblieben. Auch jetzt würde ja eine Tieferlegung des Sees um etwa denselben Betrag auf seine Gestalt kaum einen merklichen Einfluß ausüben. Wir behalten immer das lange schmale Becken, als welches es uns heute entgegentritt.

Die trocken gewordenen Flächen zeichnen sich im Norden und Süden des Sees wie am Karpfenwinkel durch Eintönigkeit aus. Es ragen aus ihnen nur flache Hügel auf. Große Teile sind völlig vermoort. Diese Moore oder Filze haben offenbar die Eintönigkeit erst hervorgerufen, indem sie alle tieferen Senken ausfüllen. Vermutlich entsprechen die Formen des Geländes nördlich und südlich des Sees ganz denen des Seebodens, der uns sanfte Bodenwellen zeigt.

Der Seegrund.

Am Grunde des Sees finden wir überall einen thonig-mergeligen Schlick, der zuweilen, namentlich an flachen Stellen, etwas sandig wird. Wir haben es hier mit dem charakteristischen Bodenabsatze zu thun, den wir fast in allen Binnenseen in ähnlicher Form antreffen. Er rührt z. T. von den oben angeführten Trübungen her, z. T. auch wird er durch die pflanzliche und tierische Lebewelt erzeugt. Namentlich sind Diatomeen an dem Bodenabsatze beteiligt. Der Schlick scheint in den größeren Tiefen als eine festere Masse und nicht in großer Mächtigkeit auf dem Untergrunde abgelagert zu sein. Denn das Lot sinkt dort nur wenig ein, bringt auch häufig nur ganz geringe Mengen von Grundprobe herauf. Nahe dem Ufer ist der Schlick, besonders an flachen Stellen, dagegen ziemlich mächtig abgelagert, sodaß das Lot tief in ihn eindringt. Zuweilen fehlt der Schlick gerade hier, er ist dann von den Wellen weggespült. Statt seiner bedecken die flache Litoralzone zahlreiche Gerölle, die aus dem Moränenschutt und dem Schotter ausgewaschen sind. Auf der geologischen Karte ist die große Ausdehnung dieser Geröllablagerungen am Ufer sowie auch die Verteilung der übrigen Bodensatzarten veranschaulicht.

Unter den Geröllen am Strande finden sich nicht selten sogenannte Furchensteine. Wir haben sie hauptsächlich bei Seeshaupt und Bern-

Digitized by Google

ried beobachtet. Dort ist fast jedes Geröllstück gefurcht, d. h. jedes Kalkgeröll; die krystallinischen Gesteine haben niemals Furchen.

Über die Entstehung der Furchen sind die Ansichten noch immer geteilt. Man führt ihre Bildung bald auf Wirkung pflanzlicher, bald auf solche tierischer Organismen zurück. Dieser Widerspruch der Meinungen dürfte dadurch veranlaßt sein, daß wesentlich verschiedene Bildungen als die gleichen Furchensteine angesehen worden sind. Am Würmsee sind zwei Formen häufig zu beobachten. Die einen Furchensteine haben einen dichten Algenüberzug, die anderen sind vollständig frei von irgend welcher pflanzlichen Überkleidung, bei ihnen sind die Furchen unmittelbar in das Gestein eingegraben. Die letzteren stellen die eigentlichen Furchensteine dar. Die Vertiefungen sind hier zweifellos durch kleine Mückenlarven geschaffen. Man findet sie überall in ihnen, verdeckt durch eine schleimige Haut. Die Furchen kommen in allen Stadien der Entwicklung vor, als kaum bemerkbare Einsenkungen im Stein, bis zu 3—5 mm tiefen Rinnen. Offenbar werden die tieferen Rinnen erst von den kräftigeren älteren Larven hervorgebracht.

Wenn der echte Furchenstein nicht mehr den Larven zum Wohnplatze dient, setzen sich in den Furchen nicht selten Algen fest. Vielleicht hat auch diese Thatsache zu dem Irrtume Veranlassung gegeben, daß wir es in den Furchensteinen mit einem Produkt pflanzlicher Organismen zu thun hätten.

Wir haben umseitig Abbildungen eines Furchensteines beigefügt, die uns drei verschiedene Formen veranschaulichen. Das erste Bild zeigt uns den echten Furchenstein ohne jeden Algenansatz, das zweite die Furchen, z. T. mit Algen überzogen und das dritte Bild eine Seite des Steines, die dicht mit einer Algendecke bekleidet ist. Man sieht auch diese Decke von mäandrischen Linien durchzogen, aber der Charakter und der Verlauf dieser ist ein völlig anderer wie der der Furchen in den beiden oberen Abbildungen. Den Algenüberzug kann man mit dem Messer ablösen; darunter kommt der völlig unversehrte Stein zum Vorschein. Von Furchen ist auf dem von Algen befreiten Steine dann nichts mehr zu sehen.

Diese Thatsache scheint uns darum von großer Bedeutung, weil C. Schröter und O. Kirchner in ihrer Arbeit „Die Vegetation des Bodensees“ die Entstehung der Furchen unmittelbar mit der Ansiedelung kleiner Mückenlarven in dem Algenüberzug in Zusammenhang bringen.[7] Nach unseren Beobachtungen an den Furchensteinen im Würmsee ist die Ansiedlung ganz unabhängig von dem Algenüberzuge. Wir haben zahlreiche Furchensteine ohne jede Spur von Algen dicht besetzt mit Mückenlarven gefunden. Auch mikro-

Digitized by Google

Furchenstein aus dem Würmsee ohne Algenüberzug.

Furchenstein aus dem Würmsee mit Algenüberzug.

Kalkgeröll aus dem Würmsee mit Algenüberzug.

Digitized by Google

skopische Untersuchungen von Dünnschliffen dieser Steine ließen keine Spur eines einstigen Algenansatzes erkennen. Selbst glatte Kalkgerölle trugen die Mückenlarven. Hier hatten sich diese offenbar noch nicht eingefressen. Für den Würmsee gilt auch nicht die auf Grund der Beobachtungen am Bodensee aufgestellte Behauptung, daß die Furchensteine ohne Algenüberzug nur dort zu finden seien, wo auch inkrustierte Steine in Menge lagen. Endlich finden sich die ausgefressenen Gerölle nicht allein in der Überschwemmungszone des Sees, sondern in der schönsten Ausbildung gerade im Wasser selbst. Der Verfasser hat sie aus Tiefen bis über 0,5 m herausgeholt.

Auf Grund dieser Thatsachen und auf Grund seiner eigenen Wahrnehmungen, die sich auf Furchensteine in den verschiedensten Entwickelungsstufen erstrecken, ist der Verfasser zu der Überzeugung gekommen, daß die Furchen allein durch die in ihnen gefundenen Mückenlarven hervorgebracht sind. Nach E. Fraas scheiden die Larven vermutlich eine Säure aus, durch die der Kalk direkt zerstört wird. Forel hat für gewisse Phryganeenlarven diese Ätzung des Steines zweifellos nachgewiesen. Sehr wahrscheinlich wirkt auch das von den Tieren abgegebene, an Kohlensäure reiche Atemwasser ätzend auf den Stein ein.

Die von Algen geschaffenen Bildungen, die der französische Forscher R. C. Chodat nachgewiesen hat, sind mit den hier beschriebenen sicher nicht identisch. Es muß sich dabei zweifellos um eine andere Erscheinung handeln. Völlig entschieden kann die Frage aber nur werden, wenn die an verschiedenen Gewässern gefundenen Furchensteine genau mit einander verglichen und ihre Bildungen im einzelnen sorgfältig beobachtet und unter Umständen experimentell geprüft werden.

Von den tieferen Stellen des Sees brachte das Lot in den geringen Mengen von Schlick kleine Eisenkügelchen herauf. Es waren lockere braune bis schwarze Körperchen von 1—3 mm Durchmesser. Die chemische Untersuchung ergab fast reines Eisen, dem nur geringe Mengen organischer Substanz und etwas kohlensaurer Kalk, letzterer vermutlich als Ansatz, beigemengt war. Wir haben es hier mit dem sogenannten Seeerze zu thun, das häufig in skandinavischen Seen gefunden worden ist. In den vom Verfasser besuchten Seen Deutschlands ist es bisher nicht bemerkt worden.

Die Entstehung dieses Seeerzes entspricht ganz der des sogenannten Sumpf- oder Rasenerzes in den Mooren. Aus den zahlreichen Mooren in der Umgebung des Würmsees wird diesem eisenhaltiges Wasser zugeführt. In den Mooren bilden sich bei der Zersetzung der Pflanzen Säuren, welche das im Boden vorhandene

Digitized by Google

Eisen lösen. Das Wasser nimmt diese Eisenlösungen auf. Werden nun die Eisenlösungen durch Oxydierung wieder zersetzt, so bildet sich Kohlensäure, die entweicht, und braune Eisenerde, das Rasenerz im Moore, das Seeerz im See.

Im Würmsee ist derartige Eisenerde an allen tieferen Stellen abgelagert, vielfach offenbar in großen Mengen, da es sonst nicht mit dem Lote hätte aufgeschöpft werden können.

Vermutlich ist das Seeerz über den ganzen Seegrund verbreitet. An den flacheren, dem Ufer näheren Stellen wird es aber von dem reichlichen Schlickabsatze überdeckt. Wir würden in dem Vorhandensein des Seeerzes am Grunde an allen tieferen Stellen einen weiteren Beweis für eine geringe Ablagerung von Schlick haben. Auf der geologischen Karte haben wir die Flächen, wo Seeerz von uns beobachtet wurde, näher gekennzeichnet.

Bei der chemischen Untersuchung wurde der für die Rasenerze charakteristische Phosphorgehalt nicht wahrgenommen, obwohl danach besonders gesucht wurde. Es ist aber nicht ausgeschlossen, daß die zur Analyse verwendeten Proben zur Feststellung des Phosphorgehaltes nicht ausreichten.

Litteratur.

[1] A. Penck, Die Vergletscherung u. s. w. S. a. a. O.

[2] A. Heim u. A. Penck, Aus dem Gebiet u. s. w. S. a. a. O. — L. von Ammon, Die Gegend von München. S. a. a. O.

[3] M. Schlosser, Geologische Notizen aus dem bayerischen Alpenvorlande und dem Innthale. (Verhandl. der k. k. geolog. Reichsanstalt.) Wien 1893.

[4] A. Penck, E. Brückner u. L. du Pasquier, La système glaciaire des Alpes. S. a. a. O.

[5] A. Heim, Beiträge zur geolog. Karte der Schweiz. Lief. XXV.

[6] R. Sieger, Zur Entstehungsgeschichte u. s. w. S. a. a. O.

[7] C. Schröter u. O. Kirchner, Die Vegetation des Bodensees. (Bodensee-Forschungen. 9. Abschn.) London 1896.

Die Entstehung des Würmsees.

Die Feststellung der Entstehung eines Sees ist eins der schwierigsten Probleme der Seenkunde. Die Lösung wird dadurch noch besonders erschwert, daß meist nicht eine Ursache allein die Bildung des Beckens veranlaßt hat, sondern daß diese auf mehrere zusammenwirkende Ursachen zurückzuführen ist. Man wird sich nicht selten damit begnügen müssen, nur die Faktoren zu ermitteln, welche an der Seeentstehung beteiligt sind.

Digitized by Google

Das Problem ist häufig etwas einseitig zu lösen versucht worden. Man hat vielfach nur die geologischen Thatsachen in Betracht gezogen. Das konnte aber nicht zu einem befriedigenden Resultate führen; es müssen auch die allgemeinen morphologischen sowie die hydrographischen Verhältnisse Berücksichtigung finden.

Gerade bei Erklärung der Entstehung des Würmsees hat man nach unserem Dafürhalten bisher allzusehr auf die rein geologischen Befunde Gewicht gelegt. Man hat allerdings auch die Gestalt des Seebeckens zur Erklärung herangezogen, aber ohne diese genauer zu ermitteln, sodaß die Kenntnis der geologischen Verhältnisse und die der morphologischen gewiß nicht gleichwertig waren, was zu irrigen Schlüssen führen musste.

In der jüngsten Geschichte der Geologie, speziell der Glacialgeologie, spielte der Würmsee eine bedeutsame Rolle; er galt bei vielen Geologen als der Typus eines echten Glacialsees, dessen Becken durch die erodierende Kraft des Gletschers geschaffen sein sollte. Diese Bedeutung hat ihm Albrecht Penck verliehen, dem wir die erste genauere Untersuchung über die Entstehung des Sees verdanken.[1]

Nach Penck ist der See durch die erodierende Kraft des letzten großen diluvialen Gletschers entstanden. Bei dieser Behauptung stützt er sich zum Teil auf die geologischen Thatsachen, zum Teil aber auch auf die morphologischen, soweit diese bisher bekannt waren.

Die geologischen Verhältnisse sind von Penck bereits vollkommen klargelegt. Andere Geologen, wie Albrecht Heim und von Ammon[2], haben die Richtigkeit seiner Wahrnehmungen durchaus anerkannt. Hier handelt es sich nur noch um die rechte Deutung der gefundenen Thatsachen. Anders steht es mit der morphologischen Grundlage seiner Beweisführung. Hier stützt er sich auf die Tiefenmessungen Geistbecks.[3] Diese sind aber für die Lösung des Problems keineswegs ausreichend gewesen. Die Messungen waren dazu einmal nicht zahlreich genug, sodann war auch die instrumentale Ausrüstung und das Meßverfahren nicht so zuverlässig, wie wir es für eine vollkommen sichere Ermittelung eines Seebeckens fordern müssen.

Das Ergebnis der Geistbeckschen Lotungen weicht darum auch, wie ausgeführt wurde, ganz erheblich von dem unsrigen ab. Das Relief des Seebodens, das unsere Karte (Tafel IV) zeigt, kann nicht mehr als eine Stütze für den glacialen Ursprung angesehen werden.

Die morphologischen Beweise der Glacialerosion.

Nach Penck schaffen die Gletscher gleichförmige Becken oder Wannen. Nach Geistbecks Messungen besitzt allerdings der Würm-

Digitized by Google

see eine einfache Muldenform, die geradezu als der echte Typus eines durch Glacialerosion geschaffenen Beckens bezeichnet wurde.

In der neuen Tiefenkarte ist an die Stelle der einfachen eine sehr mannigfaltig gestaltete Muldenform getreten. Die Isobathen verlaufen in zahlreichen Windungen, welche immer Unebenheiten des Untergrundes andeuten. Wiederholt erhebt sich der Boden zu kleinen Hügeln, im oberen Teile nordöstlich von Bernried steigt sogar ein 30 m hoher Berg auf. Das spricht wenig für die Bildung des Sees durch die Erosion des Gletschers. Auch die steilen Terrassen, die den See im unteren Teile in seiner Längsrichtung durchziehen, dürften schwer in Einklang zu bringen sein mit der Arbeit des fließenden Eises, das flache Becken, aber nicht tiefe Rinnen schaffen soll. Als eine tiefe Rinne muß man unstreitig den unteren Teil des Sees bezeichnen.

Es fragt sich in Anbetracht dessen, ob denn überhaupt irgendwelche morphologischen Beweise für eine Erosion des Beckens durch den Gletscher in dem Bodenrelief gefunden werden können. Wir glauben diese Frage mit Nein beantworten zu müssen. Auch rein theoretische Erwägungen sprechen dagegen. Der Gletscher erreichte unmittelbar im Seebecken sein Ende; die Endmoränenwälle sind die Grenzen seiner nördlichsten Erstreckung. Er hörte somit im Bereiche des Sees auf zu fließen, konnte demnach auch unmöglich noch eine große Erosionskraft besitzen. An seinem Ende wird ein Gletscher immer mehr eine aufschüttende als eine ausräumende oder gar ausfurchende Thätigkeit entwickeln. Wie die Verbreitung der Moränen zeigt, lagerte er ja in der That überall mächtige Schuttmassen ab, überall begleiten den See große Wälle, die Zeugen der aufschüttenden Arbeit des einstigen Gletschers.

Die Ablagerungen des Gletschers erstrecken sich bis in den See hinein. Wir dürfen das schließen aus der direkten Wahrnehmung des Untertauchens der Moräne unter den Seespiegel, sowie aber auch aus der großen Ähnlichkeit der Terrainformen im See und am See. Man darf die gleichen Formen hier wohl ohne Bedenken auf die gleichen Ursachen zurückführen. Wie jene Hügel und Terrassen auf dem Uferlande zweifellos durch die Gletscher gebildet sind, so auch im See. Bei niedrigem Wasserstande, wie er 1899 eintrat, konnte man auch an vielen Stellen die Moränen auf dem trocken gewordenen Seeboden bis zum Wasserspiegel verfolgen. Vermutlich ist der ganze untere, jetzt größtenteils trockene Teil des Beckens bei Starnberg ebenfalls mit Moränenschutt ausgefüllt. Sicher könnte das nur durch Bohrungen nachgewiesen werden. Vielleicht dürfen wir aber aus analogen Verhältnissen an anderen Seen darauf schließen.

Digitized by Google

Am Zürichsee ist nach Aeppli im unteren Ende durch Bohrungen eine solche Anhäufung von Gletschermaterial festgestellt. An der neuen Quaibrücke in Zürich wurde bis in 40 m Tiefe nichts als Moränenschutt und etwas Seekreide gefunden.[4]

Freilich sind diese Ablagerungen nur Beweise der letzten Thätigkeit des Gletschers. Die erodierende Kraft konnte und mußte der Gletscher vorwiegend bei seinem Vorrücken entfalten. Es sind ja andererseits auch wirklich Zeugen dieser Arbeit vorhanden in den Gletscherschliffen, die wir auf dem Deckenschotter wahrnehmen. Allein gerade diese beweisen uns, daß die Kraft des Gletschers doch nur gering gewesen sein kann; sie reichte noch aus, um das feste Gestein am Untergrunde zu glätten und abzuschleifen, aber nirgends vermochte sie in den Deckenschotter größere Becken einzugraben. Für eine sehr kräftige Erosion sind die Gletscherschliffe im Deckenschotter sicher kein Beweis.

Nach Penck hat nun der Gletscher das Becken auch nicht in den hart verkitteten Deckenschotter eingegraben, sondern seine Arbeit bestand nur in einer Wiederausräumung (Reexcavation) eines vom Schotter ausgefüllten Thales und in der Aushöhlung eines Beckens aus dem weichen Tertiär, das unter dem Deckenschotter lagert und in das der See eingebettet ist.[5]

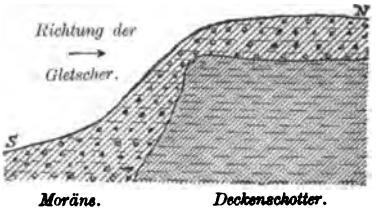
Indes wir können wiederholt beobachten, daß der Gletscher über trockenen Schutt ohne weiteres hinweggegangen ist. Solchen Schotter von Moränen überdeckt finden wir im Bereiche des Beckens zwischen Percha und Berg, dann südlich Schloss Seeburg an dem mehrfach erwähnten Aufschluß, weiter in der Kiesgrube im Park von Bernried. Überall lagert die Moräne dort unmittelbar auf dem lockeren Kies auf, ohne daß dieser irgend welche Stauchung oder sonstige Veränderung erfahren hätte. Auch an anderen Orten glacialer Ablagerungen finden wir wiederholt lockeren Schutt in dieser Weise von Moräne überdeckt; es schwebt uns besonders das Profil des Wippthales bei Innsbruck vor Augen, das ganz charakteristisch solche Lagerungsverhältnisse zeigt.[6]

Gegen eine starke Glacialerosion spricht ferner wohl auch das Vorhandensein eines größeren Hügels inmitten des Seebeckens. Im Bereiche des Sees muß zweifellos doch der Gletscher die stärkste Kraft entfaltet haben. Trotzdem hat er dort einen Hügel stehen lassen, der vermutlich aus Tertiär oder Schotter besteht. Daß es ein vom Gletscher selbst aufgeworfener Schuttkegel sei, ist kaum anzunehmen.

Betrachten wir schließlich noch die Steilwandigkeit der tiefen nördlichen Seerinne, so erscheint uns auch diese schwer vereinbarlich

Digitized by Google

mit der Arbeitsleistung eines Gletschers. Dabei ist noch zu beachten, daß vermutlich das eigentliche Becken uns noch viel schroffere Formen zeigen würde, wenn wir die Glacialablagerungen, die alle vorhandenen Unebenheiten ausgleichen, ausräumen könnten. Wo das Seebecken uns mildere Bodenformen zeigt, dürften wir es mit den Wirkungen der Glacialablagerung, nicht mit denen der Abtragung zu thun haben. Außerhalb des Sees können wir uns vollkommen davon überzeugen, daß der Gletscher oft schroffe Wände durch seine Anhäufungen verhüllt. Nördlich von Starnberg erblicken wir in einem Aufschluß von Deckenschotter, den wir in beistehender Figur abgebildet haben, eine steile nach Süden, also dem fließenden Eisstrom entgegengerichtete schroffe Deckenschotterwand, gegen die Moränenschutt angelehnt ist. Die Wand selbst zeigt durchaus keine Schliffspuren. Offenbar ist der Gletscher über die Wand hin-



Profil in einer Kiesgrube nördlich Starnberg.

weggeglitten, indem er zuvor an sie seine Moräne anlagerte, seinen Untergrund also gleichsam einebnete.

Vielleicht ist in dem Vorhandensein eines ringsum abgeschlossenen Beckens noch ein Beweis für den glacialen Ursprung zu erblicken. Fließendes Wasser schafft nur vorübergehend solche Hohlformen, nur das Eis ist imstande, sich in den Boden einzugraben und das Material bergauf aus den selbst geschaffenen Mulden herauszutragen.

Es kann nicht geleugnet werden, daß darin ein sehr augenscheinlicher Beweis liegt. Das Vorhandensein der Mulde mag sogar dazu mit beigetragen haben, daß die Theorie von der Entstehung des Sees durch Glacialerosion überhaupt soviel Zustimmung gefunden hat. Diese Annahme half am einfachsten über die Schwierigkeit hinweg, welche speziell darin lag, daß das Becken im unteren Teile ein rückläufiges Gefälle besitzt. Man setzt aber dabei voraus, daß die heutige Form des Seebeckens noch diejenige sei, welche jene Kraft, die es hervorgebracht, geschaffen habe. Das ist zweifellos nicht der Fall. Seit der Bildung des tiefen Einschnittes in das Land ist ein langer Zeitraum verflossen, innerhalb dessen das Land

Digitized by Google

manche Änderung erfahren hat. Ist doch das 136 m tiefe Becken des Achensees nach Penck ebenfalls nur ein altes abgestautes Thal.[7] Das rückläufige Gefälle kann, wie wir zu zeigen versuchen werden, auch auf andere Weise erklärt werden.

Sonach ist in der Bodengestalt sicher kein zwingender Beweis für den glacialen Ursprung des Würmsees zu finden; im Gegenteil, selbst wenn durch andere Thatsachen dieser wahrscheinlich gemacht wäre, würden die Eigentümlichkeiten des Reliefs im Seebecken zu berechtigten Bedenken gegen eine solche Erklärung Anlaß geben; es müßte denn den Anhängern der Glacialerosion gelingen, auch die Bildung eines stark undulierten Terrains durch den Gletscher als möglich zu erweisen.

Es mag nicht ohne Wert sein, hier zu bemerken, daß der Verfasser selbst früher auf Grund der Penckschen Veröffentlichungen ein Anhänger sowohl der Glacialerosion, wie auch der Bildung der Seen durch diese gewesen ist. Er ist erst auf Grund seiner späteren Beobachtungen an Gletschern wie in früher vergletschert gewesenen Gebieten zu der gegenteiligen Ansicht gekommen. Je mehr er solche Gebiete kennen gelernt hat, um so fester hat sich ihm die Überzeugung eingeprägt, daß dem Gletscher eher eine konservierende als eine zerstörende Wirkung zukommt. Der Boden alter Glacialgebiete macht stets einen jungfräulichen Eindruck; er zeigt noch die Formen der Wassererosion, aber diese erscheinen gleichsam wie gealtert, sie sind milder und sanfter geworden. Nur diese Umwandlung ist auf Rechnung der Gletscherthätigkeit zu setzen, die eigentliche Gestalt des alten Gletscherbodens ist geschaffen worden, noch bevor das Eis darüber sich lagerte. So mag es auch im Gebiete des Würmsees gewesen sein.

Es drängt sich dem Verfasser bei allen diesen Studien immer wieder die Frage auf: Ist denn eine erhebliche Erosion durch Gletscher irgendwo auf der Erde aus morphologischen Thatsachen wirklich bewiesen? Man wird nach dem gegenwärtigen Standpunkte der Kenntnis diese Frage verneinen müssen. Eine Glacialerosion, durch die ein Becken wie der Würmsee entstehen konnte, ist weder theoretisch noch praktisch auf Grund beobachteter Thatsachen überzeugend dargethan. Die Eigenschaften des Gletschereises lassen nach Ansicht der Physiker nur eine Glättung und Schleifung des festen Untergrundes, nicht aber eine Furchung in größerem Maße zu. Das erkennen auch die Anhänger der Glacialerosion an. Sie suchen darum die erodierende Wirkung auf andere Weise zu erklären. Einmal wird auf die lange Dauer der Arbeit hingewiesen. Wenn auch ein Gletscher im Laufe eines Jahres nur um 1 mm den Boden abschleife,

Digitized by Google

so summiere sich in langen Zeiträumen doch dieser Betrag. Allein auch dann wäre nur eine starke Abschleifung, nicht eine Furchung das Endresultat der Gletscherthätigkeit, d. h. der Boden des Eises wird auch in langen Zeiträumen nur erniedrigt, nicht in Thäler zerschnitten. Die Wirkung gleicht mehr der Abrasion des Meeres wie der Erosion fließender Gewässer. Weiter hat man angenommen, daß dem Gletscher eine starke Verwitterung vorarbeite. Das sollen unter anderem auch die bekannten Versuche von Finsterwalder und Blümcke beweisen.[8] Indessen die Zustände unter dem Gletscher entsprechen unserer Ansicht nach keineswegs den Verhältnissen, die jenen Versuchen zu Grunde liegen. Unter dem Eise treten Frosttemperaturen infolge der Wirkung der Erdwärme sehr wahrscheinlich nicht ein. Denn es wäre das Abschmelzen am Grunde, das durch die Beobachtungen an der Venter Ache nach Finsterwalder und an der Rhone nach Brückner erwiesen ist, sonst nicht mehr verständlich.[9] Die experimentell gefundene Verwitterung umfaßt nur das im Gletscher befindliche Gestein. Der Grund wird sogar von allem Verwitterungsschutt entblößt, was aus der Bildung der Gletscherschliffe klar hervorgeht. Endlich hat man auch auf die Mächtigkeit der diluvialen Gletscher aufmerksam gemacht. Es ist aber durch nichts erwiesen, daß die Erosion proportional der Masse zunehmen müsse. Die abschleifende Wirkung hängt doch in erster Linie von der Geschwindigkeit, nicht aber von der Mächtigkeit des Eisstromes allein ab.

Zum Teile werden diese Thatsachen von den Anhängern einer starken Gletschererosion auch zugegeben, und diese wird auf eine Ausräumung des lockeren Schuttes beschränkt. Wir möchten auch das bezweifeln. Man kann im Bereich diluvialer Schotterablagerungen immer wieder beobachten, daß der Gletscher ohne weiteres über das lockere Material hinweggegangen ist. Das sind thatsächliche Vorkommnisse, während die Ausräumung nur vermutet wird.

Man ist bei der Erörterung dieser Frage vielfach auch einen ganz falschen Weg gegangen. Man hat Landformen gefunden, deren Bildung man nicht zu erklären vermochte, und hat aus geologischen Gründen schießlich geglaubt, den Gletscher dafür verantwortlich machen zu müssen. Als dann von anderer Seite eine derartige Leistung des Gletschers betritten wurde, hat man die Glacialerosion zu beweisen gesucht. Richtiger wäre es gewesen, wenn, aus theoretischen Erwägungen heraus, die Glacialerosion als möglich erkannt und man nun erst in der Natur die Bildungen der Gletscher aufgesucht hätte. Wir würden auch ohne jede Kenntnis geologischer Thatsachen die Wassererosion kennen, da sie sich aus den physikalischen Verhältnissen fließenden Wassers ohne weiteres ergiebt.

Digitized by Google

Gegenwärtig scheinen auch die Stimmen, welche gegen eine starke Erosion der Gletscher sprechen, sich wieder häufiger zu erheben. Wir verweisen nur auf Richters Veröffentlichungen über Kar- und Fjordbildung.[10] Auch Finsterwalder stellt in seinem vortrefflichen Werke über den Vernagtferner fest, daß neben der auffallenden, schuttanhäufenden Thätigkeit der nunmehr verschwundenen Eiszunge dieses Gletschers seine erodierende Wirkung stark zurücktritt. Es finden sich nach ihm keine Anzeichen dafür, daß die Eisbewegung die Thalform erheblich beeinflußt hätte.[11] Das dürfte von den meisten verlassenen Gletscherböden gelten. Die schroffen Erosionsrinnen des Wassers, in die der Gletscher eindringt, werden gemildert und abgerundet und dadurch die bekannten U-förmigen Thäler geschaffen; aber niemals werden durch den Gletscher tiefe Rinnen ausgegraben. Die Eisaushobelung beschränkt sich, wie Gümbel bereits annimmt, auf die Bildung flacher Becken, die in vergletschert gewesenen Gebieten auch oft anzutreffen sind.[12]

Die geologischen Beweise der Glacialerosion.

Der glaciale Ursprung des Würmsees soll nach Penck nicht nur aus der Beckenform, sondern auch aus den allgemeinen geologischen Verhältnissen hervorgehen. Er führt im wesentlichen drei Gründe dafür an[13]:

1. Das räumliche Zusammenfallen der voralpinen Seen mit den Glacialbildungen,
2. der Charakter des Seethales als Erosionsgebilde,
3. das Alter des Sees, das sich aus der Art der Ablagerungen nach Penck genau bestimmen läßt.

Das räumliche Zusammenfallen der alpinen und voralpinen Seen mit den Glacialbildungen steht allerdings außer allem Zweifel. Außerhalb der inneren Moränen finden wir keine größeren Seen mehr. Aber daraus folgert nach unserer Meinung durchaus nichts für die Art der Entstehung der Seen. Die Thatsache lehrt uns nur, daß von Gletschern bedeckt gewesene Gebiete reich an Seen sind, aber sie sagt uns nichts darüber, wie diese gebildet wurden, vor allem nichts über ihre Entstehung durch die Erosion des Gletschers.

Das räumliche Zusammenfallen erklärt sich für uns sehr einfach aus dem geringen Alter aller Glacialbildungen. Seen sind im allgemeinen jugendliche Gebilde der Erdoberfläche, sie verschwinden auf altem Boden, indem die Becken dort durch Tieferlegen der Erosionsrinne entleert oder durch Schuttablagerung ausgefüllt werden. Wo eine starke Erosionswirkung fehlt oder diese noch nicht lange

Digitized by Google

besteht, da sind die zuvor entstandenen Hohlformen erhalten geblieben. Ein derartiges Land haben wir aber in dem glacialen Aufschüttungsgebiete vor uns. Der Gletscher schafft durch seine Ablagerungen ein vielgestaltetes Land, dämmt Thäler ab und bildet dadurch tiefe Hohlformen. Diese Geländeformen sind seit dem Rückgange des Gletschers noch nicht beseitigt. Wir sehen ja an dem tiefen Einschnitte der Würm in den Moränenwall oberhalb Mühlthal, was die Erosion seit dem Verschwinden des Gletschers geleistet hat. Auch sonst zeigen uns die sanften Formen der Hügel und Einsenkungen im Bereiche der inneren Moränen überall an, wie wenig das fließende Wasser zur Arbeit gekommen ist. Es ist das zugleich ein Beweis dafür, daß wir uns den Rückgang des Gletschers keineswegs als einen sehr schnellen zu denken haben, bei dem dauernd enorme Wassermengen in das Vorland entsandt werden. Dagegen spricht schon das Fehlen der großen Thäler, welche diese Wassermassen fassen konnten. Sicher verminderten sich gleichzeitig mit der Abnahme der Vergletscherung auch die Schmelzwasser. Im Würmseebecken stauten sich diese zu einem See auf, dessen überschüssiges Wasser nur das schmale Thal der Würm zu erodieren vermochte.

Die Fülle der Seen im Gebiete der letzten Vergletscherung muß somit als eine ganz natürliche Folge des jugendlichen Alters dieser angesehen werden.

Auch darüber, daß wir es in dem Thale des Würmsees mit einem Erosionsgebilde zu thun haben, kann kein Zweifel bestehen. Zunächst ist ganz ausgeschlossen, daß ein tektonischer Vorgang das Thal verursacht habe; dafür fehlt jeder Beweis. Die Ablagerungen an den Ufern des Sees entsprechen sich vollständig und es ist nirgends eine Thatsache zu finden, die darauf schließen läßt, daß etwa eine Grabenversenkung oder etwas Ähnliches vorläge.

Man könnte ferner daran denken, daß der See gewissermaßen von vornherein aus den Ablagerungen der bayerischen Hochfläche ausgespart sei. Es könnte eine Zunge der ersten Vergletscherung, deren fluvioglaciale Bildung die Nagelfluh ist, den Boden, vielleicht auch ein altes tertiäres Thal, vor der Ausfüllung mit Schotter geschützt haben. Dagegen spricht aber einmal der Umstand, daß der Schotter doch vorwiegend vor dem Anrücken des Gletschers abgelagert wurde, ferner nach Penck auch die außerordentliche Einförmigkeit in der petrographischen und stratigraphischen Ausbildung und Ablagerung der diluvialen Nagelfluh zu beiden Seiten des Sees und endlich das Fehlen jeder der Nagelfluh gleichalterigen Moränenbildung sowie auch jeder Spur glacialen Materials in der Nagelfluh selbst. Es erscheint die Nagelfluh in der Umgebung des Sees durch-

Digitized by Google

aus als eine einheitliche Decke, in welche erst später eine Lücke gebracht worden ist. Es bleibt somit nur die eine Möglichkeit übrig, daß eben das Seebecken eine spätere Erosionsfurche darstellt.

Mit den letzten Ausführungen berühren wir bereits den dritten Grund, den Penck aus dem Alter des Sees herleitet. Der See ist zunächst jünger als die Ablagerung des Deckenschotters. Er war andererseits aber schon vorhanden vor dem Rückzuge des letzten diluvialen Gletschers, denn dessen Moränen überkleiden alles Gelände in der Umgebung des Sees bis an das Wasser heran und reichen, wie oben gezeigt, sicher auch noch unter den Spiegel, ja bedecken sogar wahrscheinlich den Grund des Sees.

Aus der Ablagerung des Niederterrassenschotters, die dem Gletscher vorausging, sucht Penck die Zeit der Seebildung noch genauer zu bestimmen. Sie fällt nach ihm in die Zeit der letzten Vergletscherung selbst. Dafür giebt er folgende Beweise an:

Im Bereiche des Sees finden wir mehrfach Lager von Niederterrassenschotter. Da diese Schotter nun von Moränen bedeckt sind und sie in namhafter Menge Urgebirgsgeröll enthalten, welche nur durch Gletscher über die Kalkalpenpässe aus den Zentralalpen herübergebracht sein können, so müssen sie unmittelbar vor dem Eintritte der Gletscher in das Seegebiet abgelagert worden sein. Das Seegebiet war also nach seiner Auffassung ausgefüllt mit Niederterrassenschotter, die wir heute noch oberhalb und unterhalb sowie auch an den Ufern des Sees finden.

Diese Darlegungen erscheinen offenbar durchaus beweiskräftig. Nur in einem Punkte sind sie hypothetischer Natur; die Annahme, daß das Seebecken noch vor Heranrücken des Gletschers mit Niederterrassenschotter ausgefüllt war, entbehrt der auf Thatsachen gestützten Grundlage.

Es ist durch nichts erwiesen, daß wirklich das Becken des Würmsees unmittelbar vor Ankunft des Gletschers noch mit Schotter ausgefüllt war. Die Ablagerungen des Schotters oberhalb des Sees können bei dem ersten Vorrücken des Gletschers erfolgt sein; der Gletscher glitt dann über diese hinweg. Mit der größeren Ausdehnung des Gletschers wuchsen vermutlich auch die Schmelzwasser, die nun in dem Thale des Würmsees die Schotter weiter dem Vorlande zuführten, in dem engen Bereiche des Seethales aber alle vorhandenen Schotter forträumten. Das Vorhandensein von Niederterrassenschotter oberhalb des Sees regt gerade zu Bedenken gegen eine Ausräumung des Seebeckens durch den Gletscher an. Warum hat dieser dort das lockere Material liegen gelassen und hier fortgetragen? Der Gletscher hat bei dem Austritte aus dem Gebirge doch sicher mehr Kraft ent-

Digitized by Google

faltet als nahe seinem Ende. Er ist aber dort über den noch vorhandenen Schotter hinweggegangen ebenso wie er ja auch im Seegebiete an einzelnen Punkten den lockeren Schotter ohne jede Wirkung überschritten hat.

Die einzige Stelle, wo Niederterrassenschotter in größerer Mächtigkeit am Seeufer abgelagert ist, befindet sich südlich Schloss Seeburg. Dieses Kieslager bildet eine rätselhafte Erscheinung. Wir möchten aber doch nicht aus diesem vereinzelten Vorkommen den Schluss zu ziehen wagen, daß das ganze Seebecken bis zu der Höhe, in welchem hier der Schotter auftritt, damit ausgefüllt war. Wir möchten vermuten, daß dieser Schotter in einem Seitenthal liegt, vielleicht aber auch durch Schmelzwässer zur Seite des Gletschers abgelagert ist.

Auf eine starke Thätigkeit des fließenden Wassers im Gebiete des Gletschers, namentlich nahe seinem Ende, deutet dagegen zweifellos die große Mannigfaltigkeit in der Bodengestalt. Wir möchten in den Drumlins und den zahlreichen Hohlformen überall Spuren des fließenden Wassers erblicken. Diese sammelten sich in dem Thale des Würmsees und reichten aus, um aus ihm den zuvor abgelagerten Niederterrassenschotter fortzuräumen.

Wenn das Thal thatsächlich erst von dem Gletscher ausgeräumt worden wäre, so bleibt wieder dessen Gestalt um so rätselhafter. Denn es läßt sich die tiefe Rinne im nördlichen Teile kaum erklären, wenigstens vermögen wir keinen Grund ausfindig zu machen, auf den die eigentümliche Form des nördlichen Sees zurückgeführt werden könnte.

Wir glauben endlich aber auch noch einen direkten Beweis dafür erbringen zu können, daß das Thal vor dem Gletscher vorhanden gewesen sein muß. Aus der Ablagerung der Moränen, besonders aus deren Richtung, geht ganz zweifellos hervor, daß der Gletscher als eine langgestreckte Zunge sich nach Norden ausdehnte. In dieser Form muß er lange verharrt haben, da sonst die Moränenwälle nicht in so scharfer Form abgelagert sein könnten. Daß der Gletscher unabhängig von der Bodengestalt als eine schmale Zunge sich ausgebildet haben könnte, ist ausgeschlossen. Es muß die Form des Geländes ihn dazu gezwungen haben und zwar muß eine ausgesprochene Thalfurche vorhanden gewesen sein, da eine geringere Einsenkung des Bodens von ihm ohne besondere Wirkung überschritten wäre. Bei einer solchen Annahme erklärt sich sehr einfach die heutige Form des Seebeckens. Durch den Gletscher ist uns hier ein altes Thal erhalten geblieben; näher dem Gebirge ist die Thalfurche durch Schotter und teilweise auch durch glaciale Schutt-

Digitized by Google

massen wieder ausgefüllt, am Ende des Gletschers hat dieser selbst mit seinem Gesteinsmaterial das vorhandene Thal überschüttet.

Aus diesen Ausführungen geht gewiß das eine mit Sicherheit hervor, daß die Annahme Pencks, es falle die Ausräumung des Seebeckens in die Zeit der letzten Vergletscherung, nicht unbedingt aus den Thatsachen beweisbar ist, daß im Gegenteile mehrere Erscheinungen das Vorhandensein des Thales vorher sehr wahrscheinlich machen. Damit würde dann aber auch der letzte Grund, auf den Penck seine Theorie der Seeentstehung stützt, fallen, und der See nur noch deshalb als ein Glacialbecken angesehen werden können, weil er eine sonst nicht erklärbare Hohlform darstellt. Im übrigen geben weder die morphologischen noch die geologischen Verhältnisse einen zwingenden Beweis für die Entstehung des Würmsees durch die Gletschererosion, deren Möglichkeit ja an und für sich schon aus physikalischen Gründen bezweifelt werden muss.

Beweise für Wassererosion.

Ein Erosionsgebilde liegt aber zweifellos vor. Auch Penck giebt zu, daß hier ein Thal schon vor Eintreffen des Gletschers vorhanden gewesen sein muß; denn der Niederterrassenschotter, der dem Gletscher voraus abgesetzt wurde, ist an den Nagelfluh- und Flinzgehängen angelagert, er kleidet also ein vorhandenes Thal aus. Wann dieses in den Deckenschotter eingegraben wurde, ist schwer zu ermitteln. Vermutlich war es schon vor der zweiten Vergletscherung vorhanden. Wir möchten das aus der Verbreitung der äußeren Moräne schließen, die sich in ihrer Ausbreitung sehr der der inneren anpaßt, also unter ähnlichen orographischen Verhältnissen abgelagert sein muß. Vor Beginn der zweiten Vergletscherung fand zweifellos ebenfalls unter der zunehmenden Feuchtigkeit eine starke Erosionsthätigkeit in dem alpinen Vorland statt, durch welche die Nagelfluhdecke zerstückelt wurde. In die Thäler legten sich dann die Gletscher der zweiten Eiszeit und bewahrten sie so vor der Zuschüttung durch die Schotter. Nach ihrem Rückgange blieb das Thal zurück. Als vor Beginn der letzten Eiszeit die Gewässer wieder reicher den Alpen entströmten, wurden die vorhandenen Thäler von neuem vertieft und erweitert und so den folgenden Gletschern gewissermaßen der Weg geebnet. Sie legten sich in die vorhandenen Thalbetten und schützten diese vor der Ausfüllung mit Schotter, der aber auf dem noch eisfreien Lande zwischen den Gletscherzungen noch zur Ablagerung kam. So erklärt sich das Auftreten einzelner Lager der jüngeren Schotter im Bereiche des eigentlichen Seebeckens.

Digitized by Google

Für eine solche Erosion des fließenden Wassers sprechen zunächst die orographischen Verhältnisse. Das Seebecken hat die charakteristischen Formen eines Flußthales. Wir finden Thäler von der gleichen Gestalt noch heute im bayerischen Alpenlande. Wir brauchen unseren Blick nur auf das benachbarte Isarthal zu richten. Im nördlichen Teile des Sees liegt eine tiefe Erosionsrinne vor; sie erklärt sich aus dem lockeren weichen Materiale, in das sie eingegraben ist. Oberhalb des Seespiegels hatte das fließende Wasser den vielleicht schon verkitteten Deckenschotter zu bearbeiten, es schaffte hier darum ein breites Thal; im Tertiär aber fand es weniger Widerstand und arbeitete nun in die Tiefe.

Wie in den gegenwärtigen Flußthälern finden wir auch im Westen sanfte, im Osten steile Gehänge; die tiefe Rinne liegt kennzeichnender Weise nahe dem Ostufer, was auch bei den rezenten Thälern der Fall ist.

Auch die Verzweigung des Seethales nach Süden ist unter der Annahme, daß wir es mit Wassererosionen zu thun haben, leicht verständlich. Sie läßt auf das Zusammenlaufen zweier Thäler schließen, die sich dann zur tiefen Rinne im Norden vereinen. Vermutlich teilten sich die Gewässer auf der Hochfläche und in den Thälern oft, wie sie es heute noch thun; zwischen den einzelnen Armen blieben Hügel stehen, die dann vom Gletscher überdeckt und in ihren Formen abgerundet wurden. So wird auch das häufige Auftreten kleiner Erhebungen im Bereiche des Sees und in dessen Umgebung erklärt.

Schon das äußere Aussehen der Landschaft spricht darum auch durchaus nicht für eine glaciale Erosion. Die ganze Erscheinung des Sees bietet mehr das Bild eines wassergefüllten Flußthales dar. Echte Glacialseen finden wir dagegen zahlreich in der Umgebung des Würmsees, in den Moränenseen, die diesen umschwärmen, zu denen auch der Ostersee südlich von Seeshaupt gehört. Derartige Landschaftsformen, wie sie das Bild dieses Sees (S. 16) uns zeigt, finden wir am Würmsee nirgends. Da aber auch in seinem Becken die Moräne die oberste Decke bildet, so muß die Abweichung in der Gestalt der Ablagerung durch einen anderen Faktor bedingt sein; dieser andere Faktor ist das Flußthal, das vor dem Heranrücken des Gletschers schon vorhanden war und ihm eine bestimmte Bewegungsrichtung aufzwang, die auch die Art der Schuttablagerung bedingte. Der Gletscher vermochte die Spuren der voraufgegangenen Wassererosion nicht wieder zu verwischen. Diese muß aber eine sehr starke gewesen sein, worauf wir aus der Mächtigkeit der Niederterrassenschotter außerhalb der inneren Moränen wohl schließen dürfen.

Digitized by Google

Betrachten wir weiter die einzelnen Querschnitte des Seebeckens, so scheinen auch diese in ihrer Form eher auf Wasser- wie auf Gletschererosion zu deuten zu sein. Bei der Darstellung der Morphometrie sahen wir (S. 54), daß die mittlere Tiefe des Beckens in südnördlicher Richtung sich annähernd gleich bleibt. Da die Form des Bettes sich wiederholt erheblich ändert, so kann diese Erscheinung nur darin ihre Erklärung finden, daß die Erosion, welche das Bett geschaffen hat, in ihrer Richtung ebenfalls häufig gewechselt hat. Eine horizontale Verschmälerung des Querschnittes wurde stets durch eine größere Vertiefung desselben wett gemacht. Thatsächlich treffen wir die tiefste Stelle des Sees gerade dort, wo die Wanne in eine schmale Rinne übergeht, wo also zweifellos das fließende Wasser zu einer starken Tiefenerosion gezwungen wurde, die hier um so mächtiger zur Geltung kam, als die Arbeit in lockerem Materiale vor sich ging. Aber auch sonst ist die Tiefe des Sees überall groß, wo das Becken verengt ist; es ist das im ganzen nördlichen Teile, wie auch in der Einschnürung bei Bernried der Fall. Ein solcher Wechsel in der Erosionsleistung ist mit den physikalischen Eigenschaften der zähflüssigen Masse eines Gletschers schwer zu vereinigen. Der See stellt daher auch in seinen einzelnen Querschnitten durchaus eine durch Wasser gebildete Furche dar.

Einen weiteren schwerwiegenden Beweis für die Bildung des Sees durch Wassererosion erblicken wir schließlich auch noch darin, daß der tiefste Grund des Würmsees, Ammersees und selbst des Chiemsees nahezu in einem Niveau liegt (S. 52). Das deutet entschieden auf einheitliche Abflußverhältnisse hin. Die Flüsse, welche die Seebecken durchflossen, eilten nach Norden einem gemeinsamen Strome zu. Es wäre völlig unerklärlich, wie der Amper- und Würmgletscher, die gewiß verschieden mächtig waren, fast genau bis zu derselben Tiefe erodiert haben sollten. Die thatsächlich vorhandenen Höhenunterschiede der tiefsten Sohlen der drei Becken können der Annahme einer Wassererosion ebenfalls nur als Stütze dienen; der Ammersee liegt vom Fuße des Gebirges entfernter als der Würmsee, sein Thal mußte daher tiefer eingeschnitten sein, und zum Chiemsee dacht sich die ganze Hochfläche ab, sodaß auch sein Becken tiefer eingesenkt wurde.

Aber es bleibt noch ein dunkler Punkt übrig. Wo ist der Ausweg des alten Thales?

Zunächst muß zur Beantwortung dieser Frage darauf hingewiesen werden, daß die eigentliche Abflußrinne heute nicht mehr vorhanden sein kann, weil seit der Bildung des Thales ein langer Zeitraum verflossen ist, in dem das Gelände namentlich durch die aufschüttende

Digitized by Google

Thätigkeit des Gletschers manche Veränderung erfahren hat. Der alte Abflußkanal ist zugeschüttet. Ein Gletscher, der so gewaltige Wälle aufwarf, wie wir sie in den Endmoränen vor uns sehen, konnte leicht eine schmale Thalrinne ausfüllen, ohne daß auch nur eine Spur davon erhalten blieb. Es kann ja keinem Zweifel unterliegen, daß das unterste Ende des Seebeckens zum Teile von dem Gletscher ausgefüllt ist.

Selbst die bedeutende Tiefe von 123 m des Beckens schließt eine solche Annahme nicht aus. Nach den jetzigen orographischen Verhältnissen ist die Möglichkeit eines Abflusses selbst der tiefsten Stelle des Sees durchaus gegeben. Diese liegt in einer Meereshöhe von 461 m. Wir brauchen nicht allzuweit an der Würm und Amper flußabwärts zu schreiten, um auf dieses Niveau und darunter zu gelangen.

Vielleicht kann die tiefe Einsenkung des Würmsees aber auch noch auf nachstehende Weise als Werk der Wassererosion erklärt werden. Die Tiefe ist thatsächlich nicht so beträchtlich, als es scheint. Das rückläufige Gefälle im unteren Ende des Sees bis zur tiefsten Stelle beträgt kaum mehr als 1 °. Diese Neigung ist zum Teile jedoch erst durch die Schuttablagerung des Gletschers geschaffen worden; in dem ursprünglichen Thale war sie erheblich geringer und erreichte sicher noch nicht 10 °/₀₀. Es ist wohl denkbar, daß diese Vertiefung des einstigen Flußbettes durch lokale Vermehrung der vertikalen Erosion gebildet werden konnte. Sicher fand nun im Bereiche des Seebeckens wirklich eine Verstärkung der Tiefenerosion statt. Schon unsere Übersichtskarte (Taf. I) zeigt uns eine bedeutende Thalverengung gegen das Ende des Sees hin. Diese tritt noch schärfer in der orohydrographischen Karte (Taf. IV) hervor. Ein großer Teil der dem Isargletscher entströmenden Wassermasse wurde somit nördlich der Linie Tutzing—Ammerland in ein schmales Bett eingezwängt. Westlich und östlich erschwerten die festen Bänke der diluvialen Nagelfluh die seitliche Erosion; die Wasserkraft wirkte darum innerhalb des in den Deckenschotter eingeschnittenen Thales nach unten und vertiefte in den weichen Ablagerungen des Tertiäres sein Bett bedeutend. Nach Norden konnte sich das Wasser außerhalb der Nagelfluhdecke wieder ausbreiten, die Tiefenerosion trat hinter der seitlichen zurück. Dadurch entstand die breite Schotterfläche, die sich vor den inneren Moränen ausbreitet. Das Becken des Würmsees würde danach nicht ein normales Flußbett darstellen, sondern das Bett einer Stromenge, das ja stets auch bei den rezenten Flüssen eine erhebliche Vertiefung der Sohle aufweist. Vielleicht wurde die Tiefenerosion nach Norden auch durch die Vermehrung und größere Mächtigkeit der Schotter vermindert, deren Transport einen Teil der

Digitized by Google

Wasserkraft aufbrauchte. Im Bereiche des Sees hatte der Strom bereits die Schotter ausgeräumt, ehe er in das weiche Tertiär einschnitt. Im Gebiete des Ammersees würden ähnliche Verhältnisse vorliegen, und daher würde auch dort eine Vertiefung annähernd bis zu dem gleichen Niveau sich haben bilden können. Doch erscheint nach den obigen Ausführungen die Annahme einer stärkeren Vertikalerosion zur Erklärung des Beckens keineswegs unbedingt erforderlich.

Man könnte zu Gunsten der Bildung des Sees durch glaciale Erosion nur noch das Fehlen einer größeren Abflußrinne anführen, die durch die Schmelzwasser des Gletschers geschaffen werden mußte. Allein eine Abflußrinne ist thatsächlich vorhanden. Daß diese nicht der Größe der Schmelzwasser entspräche, ist durch nichts erwiesen. Sie sind vermutlich gering gewesen, sonst würden sie in dem lockeren Materiale schon während des Vorhandenseins der Gletscher eine breitere und tiefere Furche in den Moränenwall eingeschnitten haben. Zur Zeit des Vorrückens des Gletschers war sicher ein größerer Abfluß vorhanden. Mit dem Rückgange des Gletschers verminderten sich aber die Schmelzwasser, die glaciale Aufschüttung überwog und es entstand dadurch der geschlossene Moränenwall am Ende des Gletschers.

Nach alledem scheint uns eine Erklärung des Seebeckens als Erosionsgebilde des fließenden Wassers weit ungezwungener als die, welche eine mächtige Gletschererosion, von der wir nichts Sicheres wissen, voraussetzt.

Tektonische Vorgänge.

Dieser Betrachtung legten wir die jetzigen orographischen Verhältnisse zu Grunde. Es fragt sich indessen, ob diese noch dieselben wie zur Zeit der Bildung der Erosionsrinne sind. Auf Grund einer Reihe von Thatsachen erschien es ja durchaus nicht unwahrscheinlich, daß das bayerische Alpenvorland noch während der Diluvialzeit eine Störung erfahren hat. Sollte die von Heim im Bereiche des Züricher Sees zweifellos nachgewiesene posttertiäre Senkung der Alpen sich nicht auch bis auf das bayerische Alpenvorland erstreckt haben?[12] Penck hält eine solche Niveauveränderung nicht für unmöglich. Wir verweisen hier nochmals auf die bereits erwähnte Thatsache, daß in dem voralpinen Flußsysteme zahlreiche Änderungen wahrnehmbar sind, welche ihre einfachste Erklärung in der Annahme finden, daß innerhalb der Diluvialzeit das Gefälle der Thäler verändert worden ist.

Freilich völlig sichere Beweise für eine derartige Niveauveränderung besitzen wir in der unmittelbaren Umgebung des Würmsees nicht. Es fehlen hier die zusammenhängenden Erosionsterrassen, die

Digitized by Google

am Züricher See so deutlich die posttertiären Dislokationen erkennen lassen.

Penck hat, wohl angeregt durch eine Äußerung Du Pasquiers bei Gelegenheit einer gemeinsamen Exkursion am Würmsee, das Gefälle der Oberfläche des Deckenschotters in dessen Umgebung untersucht und, wie bereits erwähnt, festgestellt, daß es kaum noch in seiner ursprünglichen Lage sich befindet.[15] Die Neigung wechselt nach seinen Angaben: von Starnberg bis Tutzing bleibt die Oberfläche nahezu horizontal, während sie von München bis Starnberg und ebenso von Tutzing an allmählich ansteigt (Tafel V). Aus dieser Beobachtung schließt er auf eine Störung der Schichten. Das alpine Vorland sollte noch in postglacialer Zeit in flache Falten umgebogen sein. Aber er glaubt nicht, daß die Entstehung des Sees mit diesen Falten etwas zu thun habe. Vor allem könne die kleine Faltung nicht das ursprüngliche Gefälle rückläufig gemacht haben, analog etwa den Vorgängen am Züricher See. Dafür sei die Einbiegung des Seebodens zu beträchtlich, sodann greift der See südwärts bis in die Aufwölbung hinein und endlich würde eine solche Erklärung nicht für den Ammersee zugleich passen, da dieser gerade in die Antiklinale der Falte fällt.

Nach unserer Ansicht ist, wie oben schon (S. 68) hervorgehoben wurde, die Faltung überhaupt viel zu wenig sicher erwiesen. Sie soll hervorgehen aus den Gefällsverhältnissen der Nagelfluhoberfläche, die nur an vereinzelten Stellen aufgeschlossen ist. Diese wenigen Aufschlußstellen reichen sicher nicht dazu aus, eine derartige Faltung nachzuweisen. Es fragt sich aber ferner auch noch, ob die Oberfläche des Deckenschotters überhaupt je eine völlige Ebene gebildet hat. Sollte das der Fall gewesen sein, so darf doch endlich nicht außer Acht gelassen werden, daß seit ihrer Ablagerung die Decke noch manche Umgestaltung durch das fließende Wasser und in geringem Grade auch durch das fließende Eis erfahren hat. Nur aus der Umbiegung zweifellos horizontal abgelagerter Schichten könnte eine Faltung sicher erwiesen werden; solche Schichten fehlen aber im Pleistocän der bayerischen Hochebene.

Aber trotzdem möchte der Verfasser eine posttertiäre Niveauveränderung der voralpinen Hochfläche nicht ganz als unmöglich hinstellen. Sie scheint sich jedoch mehr in einer allgemeinen Senkung nach den Alpen zu geäußert zu haben.

Dafür sprechen die wiederholt erwähnten Änderungen im Systeme der voralpinen Gewässer, die zweifellos postglacial sind, ferner aber auch die ganz unbestreitbare Thatsache, daß der Deckenschotter längs des Sees nicht mehr in seiner ursprünglichen Neigung vorhanden ist.

Digitized by Google

Wenn man den Endmoränenwall überschritten hat, fällt einem der geringe Anstieg des Geländes bis zu den Alpen außerordentlich auf. Von München bis zum Moränenwall erhebt sich der Boden auf 15 km um fast 100 m, von der Höhe des Moränenwalls bis zu den Alpen bleiben wir dagegen auf 30 bis 40 km in gleichem Niveau. Der Würmseespiegel liegt in 584 m Höhe, der des Kochelsees ist nur 12 m höher. Der Deckenschotter ist bei Berg in etwa 630 m Höhe aufgeschlossen, darüber hinaus ragen nur noch vereinzelte Erhebungen desselben in dem Gebiete des Sees oberhalb Berg. Ähnlich verhält es sich mit den Ablagerungen des Niederterrassenschotter, die am Kochelsee kaum höher liegen als am Würmsee. Der Boden des ersteren senkt sich auf 530 m herab, der des letzteren auf 460 m; für die Strecke von 35 km giebt das nur das geringe Gefälle von 2 $^0/_{00}$, das kaum noch das natürliche sein dürfte.

Nun ist ja allerdings das Gebiet unmittelbar am Fuße der Alpen noch starker Erosion unterworfen worden, von denen die Ablagerungen am See nicht mehr betroffen wurden. Aber liegt nicht gerade darin, daß die Randgebiete der inneren Moränen nicht mehr von den Gewässern der Alpen bearbeitet wurden, ein Beweis dafür, daß hier eine Änderung der Abflußverhältnisse eingetreten ist? Gümbel weist schon bei der Besprechung der Glacialbildungen im bayerischen Alpenvorlande auf diese Erscheinung hin. „Dabei ist es sehr auffallend", schreibt er, „daß die auf dem Gletscherzug liegenden großen Seen nicht mit Gletscherschutt ausgefüllt wurden. Es scheint dies z. T. wenigstens darin seinen Grund zu haben, daß bei dem Rückzug des Eises die mit Geschieben und Schlamm beladenen Gewässer bereits einen anderen Thalweg gefunden haben".[16]

Eine Störung der allgemeinen Gefällsverhältnisse geht schließlich wohl auch aus der Kleinheit des Zuflußgebietes des Würmsees und auch des Ammersees hervor. Da wir es mit einem alten Erosionsthal zu thun haben, in dem doch zweifellos mächtige Wassermassen zu Thal geflossen sind, ist eine so geringe Ausdehnung des Zuflußareals sicher eine auffallende Erscheinung, die aber leicht ihre Erklärung findet in der Annahme einer späteren Niveauveränderung im Bereiche des Alpenvorlandes.

Wann sich diese Bewegung vollzogen haben kann, ist jetzt ebensowenig wie die Bewegung selbst festzustellen. Es ist aber denkbar, daß sie bereits nach der Ablagerung des Deckenschotters begann und dann bis nach der letzten Vergletscherung anhielt. Vielleicht ist sie mit eine Ursache der außerordentlichen Tiefe der Seerinne, indem das fließende Wasser in das relativ höher werdende Vorland immer tiefer einschnitt.

Digitized by Google

Daß die heutige Einbiegung des Seebodens für eine solche Niveauveränderung zu beträchtlich sei, darf nicht als Einwand erhoben werden. Der heutige Seeboden entspricht nicht mehr den ursprünglichen Gefällsverhältnissen. Der Anstieg des Grundes zum nördlichen Seeende ist durch die glacialen Ablagerungen erst geschaffen. Wohl aber könnte man in dem tiefsten Boden des nördlichen Sees noch annähernd das ursprüngliche Flußbett annehmen; es würde nur eine ganz geringe Senkung des Landes erfordert haben, um diesem ein teilweise rückläufiges Gefälle zu geben.

Nehmen wir an, daß das normale Gefälle des Deckenschotters etwa 5 bis 6 ‰ beträgt, so würde von Mühlthal etwa an bis zur tiefsten Stelle eine Senkung von 50 bis 60 m erforderlich gewesen sein, um die Oberfläche des Deckenschotters in die horizontale Lage zu bringen. Dann hätte das Seebecken ursprünglich nur eine relative Einsenkung von etwa 60—70 m dargestellt. Damit würden wir auf die Höhe von München kommen; ein natürlicher Abfluß des Beckens vor der letzten Vergletscherung erscheint unter diesen Annahmen ohne weiteres möglich, zumal wenn wir noch einen Teil der Einsenkung auf eine stärkere Vertikalerosion innerhalb der Thalenge zwischen der Nagelfluhdecke zurückführen.

Für die Alpen würde sich unter Zugrundelegung der gleichen Voraussetzungen etwa eine Senkung von 200—250 m ergeben, also erheblich weniger als Heim für die Schweizer Alpen nachgewiesen hat.

Wir betonen freilich noch einmal, daß sichere Beweise für einen solchen Vorgang bisher nicht haben erbracht werden können. Die Annahme einer posttertiären Senkung der Alpen und des unmittelbaren Vorlandes ist ja zur Erklärung des Sees auch garnicht unbedingt notwendig, sie kann nur die immerhin bedeutende Einsenkung des Würmseebeckens erklären helfen, sie soll nicht die Ursache der Hohlform sein, wohl aber kann sie zur Bildung derselben beigetragen haben, indem sie das ursprüngliche Gefälle veränderte. Indes auch ohne die Annahme einer Krustenbewegung im Bereiche des Alpenvorlandes ist nach unserem Dafürhalten die Bildung des Würmseebeckens durch Erosion des fließenden Wassers durchaus begreiflich.

Die Entstehungsgeschichte des Sees.

Nach den vorstehenden Ausführungen vollzog sich die Entstehung des Seebeckens etwa in folgender Weise:

Nach Ablagerung der Nagelfluhdecke, dem fluvioglacialen Gebilde der ersten Eiszeit, setzte bereits die Wassererosion ein. Die Gewässer, welche der zweiten Vergletscherung vorausgingen, schufen die Unter-

Digitized by Google

brechung der Nagelfluh, in der heute der See liegt. Dann legte sich der Gletscher der zweiten oder alten Eiszeit in das vorhandene Thal, das nach seinem Rückzug erhalten geblieben ist. In dieses Thal ergossen sich nun auch die Gewässer der jüngsten Vergletscherung, erweiterten und vertieften es und bahnten so auch dem jüngsten Gletscher den Weg. Dieser schob sich in der Form einer schmalen Zunge in das vorhandene Thalbett ein, füllte es vollständig aus und schwoll schließlich zu solcher Mächtigkeit an, daß er auch noch die umgebenden Höhen überdeckte. In jener Zeit lagerte er die terrassenartig aufsteigenden Moränenwälle zu beiden Seiten des Sees ab. Der Rückzug erfolgte in gleicher Weise. Zunächst wurden die Anhöhen wieder eisfrei und erst ganz zuletzt verschwand der Gletscher auch aus dem Thale. An den Gehängen und auf den Höhen hinterließ er die parallelen Moränenzüge, das Thal schützte er im allgemeinen vor der Zufüllung, nur am unteren Ende lagerte er noch Gesteinsmaterial ab. Bei seinem Rückzuge aus dem Thale selbst hinterließ er keine Spuren mehr, vermutlich war seine Kraft zum Transporte von Gesteinen bereits zu sehr erlahmt. Seine Schmelzwasser aber vermochten ebenfalls nicht mehr das Becken mit Schutt auszufüllen, weil sie einmal dazu nicht mächtig genug waren, sodann auch weil sie infolge Änderung der Gefällverhältnisse in andere Thalwege abgelenkt wurden. Das überschüssige Wasser floß in der schmalen Thalrinne der Würm ab. Während dieses ganzen Vorganges senkte sich mutmaßlich gleichzeitig das Alpenvorland nach den Alpen hin ein, wodurch der Thalboden in eine größere Tiefe geriet.

Litteratur.

[1] A. Penck, Vergletscherung der deutschen Alpen. S. a. a. O.

[2] Von Ammon, Die Gegend von München. S. a. a. O. — Albert Heim und A. Penck, Aus dem Gebiet des alten Isargletschers und des alten Linthgletschers. S. a. a. O.

[3] A. Geistbeck, Die Seen der deutschen Alpen. S. a. a. O.

[4] Aug. Aeppli, Erosionsterrassen und Glacialschotter in ihrer Beziehung zur Entstehung des Zürichsees. (Inaug.-Dissertation) Bern, 1894.

[5] A. Heim und A. Penck, Aus dem Gebiet u. s w. S. unter 2.

[6] A. Penck, E. Brückner und L. du Pasquier, Le système glaciaire des Alpes. S. a. a. O.

[7] A. Penck, Die Vergletscherung u. s. w. S. unter 1.

[8] Finsterwalder und Blümcke, Zur Frage der Gletschererosion. Sitz.-Ber. d. math.-phys. Klasse der Akademie zu München. 1890.

[9] E. Brückner, Untersuchungen über die tägliche Periode der Wasserführung und die Bewegung von Hochfluten in der oberen Rhone. (Petermanns Mitt. 41. Bd.) Gotha, 1895. — A. Penck, Die wissenschaftlichen Arbeiten d. D. u. Ö. Alpenvereins. (Mitt. d. D. u. Ö. Alpenvereins.) 1891.

Digitized by Google

[10] E. Richter, Geomorphologische Beobachtungen aus Norwegen. (Sitz.-Ber. d. k. Akademie d. Wissensch. in Wien, Math.-naturw. Klasse. Bd. CV, Abteil. I) 1896.

[11] Finsterwalder, Der Vernagtferner, seine Geschichte und seine Vermessung in den Jahren 1888—1889. (Wissenschaftl. Ergänzungshefte z. Zeitschr. d. D. u. ö. Alpenvereins. Bd. I, Heft I) Graz 1897.

[12] W. v. Gümbel, Geologie von Bayern. (2 Bd. S. 360.) Kassel 1894.

[13] A. Heim und A. Penck, Aus dem Gebiet u. s. w. S. unter 2.

[14] A. Heim, Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz. Lief. XXV. — A. Aeppli, Erosionsterrassen u. s. w. S. unter 4.

[15] A. Penck, Brückner und du Pasquier, Le système etc. S. unter 6.

[16] W. v. Gümbel, Geologie von Bayern. (2 Bd. S. 347.) S. unter 12.

Die systematische Stellung des Würmsees.

Der Würmsee ist somit nach unseren Ausführungen eine vorwiegend durch Gletscherschutt abgedämmte Erosionsrinne, in der das Wasser vermutlich noch durch eine Niveauänderung des Bodens aufgestaut worden ist. An seiner Bildung sind demnach mehrere Faktoren beteiligt gewesen. Dieser Umstand erschwert seine Einordnung in die vorhandenen Seesysteme, da sie meist nur eine der Ursachen der Seenbildung berücksichtigen. Die gegenwärtigen Klassifikationen der Seen bedürfen daher nach dieser Seite hin noch einer Ergänzung.

Die bisherigen Klassifikationen gründen sich im allgemeinen auf das genetische Prinzip. Die Entstehungsmöglichkeiten der Seebecken sind durch die Forschung gegenwärtig befriedigend klargestellt. Es bestehen nur über die Bedeutung der einzelnen seebildenden Vorgänge sowie über die Anordnung der verschiedenen Seebildungen im Systeme abweichende Anschauungen.

Nach Ferd. von Richthofen können Vertiefungen des Bodens hervorgebracht werden[1]:

1. durch gebirgsbildende Vorgänge, denen die aus dem Erdinnern wirkenden Kräfte zu Grunde liegen,
2. durch Einbrüche infolge örtlicher Entziehung der Unterlage,
3. durch Aufwerfen eines Ringwalles mittels explosiver Thätigkeit,
4. durch Ausräumung (Erosion),
5. durch Abgliederung eines Teiles einer wassererfüllten Vertiefung,
6. durch Abdämmung eines fließenden Gewässers,
7. durch unebene Ablagerung.

In diesen sieben Kategorieen dürften thatsächlich alle seebildenden Vorgänge enthalten sein. Auch über die Art der Seeentstehung durch diese Faktoren giebt Richthofen bereits hinreichende

Digitized by Google

Aufklärung, die dem gegenwärtigen Stande der Kenntnis entspricht. In Bezug auf die Ausräumungsbecken bestehen jedoch noch Meinungsverschiedenheiten, wie das auch aus dieser Arbeit deutlich hervorgeht. Wir möchten diese Seen mit Forel lieber als Erosionsseen bezeichnen. Darunter begreifen wir dann, wie Richthofen, alle Becken, bei denen eine Aushöhlung durch von außen wirkende Agentien angenommen werden muß.

Als erodierende Kräfte kommen das fließende Wasser, der Gletscher und die bewegte Luft in Betracht. Die Wirkung dieser Kräfte ist außerordentlich verschieden. Der Wind vermag nur in Ländern mit Trockenklimaten flache Mulden auszuhöhlen. Er trägt alles lockere Material fort. Wo also durch starke Verwitterung der Boden in größerem Betrage gelockert wird, müssen flache Becken entstehen. Diese sind aber nur selten auch wassererfüllt, weil es in solchen Gegenden an genügendem Wasser gebricht.

Am gewaltigsten bearbeitet das fließende Wasser den Boden. Jedoch auch dieses schafft nur kleinere Becken, wie schon Richthofen betont. Jeder Fluß, ja jeder Regenbach zeigt uns das. Bei dem unter stetigem Gefälle fließenden Wasser fällt eine größere Beckenbildung überhaupt fort, nur Flüsse mit wechselndem Gefälle schaffen kleine Vertiefungen, die aber wegen ihrer Flachheit niemals dauernde Seebecken werden können. Diese aushöhlende Kraft nimmt allerdings mit der Größe des Gefälles zu und senkrecht fallendes Wasser strudelt selbst in hartem Felsen tiefe Kessel aus. Geinitz bezeichnet diese Arbeitsleistung als Evorsion.[2] Er möchte auf sie zum Teile die Bildung der baltischen Seen zurückführen. Allein auch durch Strudelung können nur kleine Becken geschaffen werden. Es kann das mathematisch berechnet werden. Die Kraft des Wassers muß sich mit der zunehmenden Tiefe nach einem bestimmten Gesetze vermindern. Zunächst schlägt es unmittelbar auf den Grund auf, dann bedeckt sich dieser mit Wasser, wodurch natürlich die Schlagwirkung des fallenden Wassers geschwächt wird. Man kann das an jedem Regenbache beobachten. Bringt man ein solches Rinnsal zum freien Falle, so kolkt es einen Kessel im Boden aus, der aber nach einiger Zeit unverändert bleibt. Nach mehrfachen Beobachtungen an Regenbächen glaubt der Verfasser die Vermutung aussprechen zu können, daß die Tiefe noch nicht die Hälfte der Breite erreicht, sodaß also ein Fluß von 100 m bei freiem Falle höchstens ein Becken von 50 m Tiefe schaffen könnte. Ohne Zweifel kommt aber noch die Höhe des Falles, die Größe der Wassermenge und die Härte des Gesteines in Betracht. Es wächst jedoch keinesfalls die Wirkung mit diesen Werten in gleichem Verhältnisse. Thatsächliche Untersuchungen

Digitized by Google

darüber fehlen uns leider noch. Aber Forel macht mit Recht darauf aufmerksam, daß selbst am Fuße des mächtigen Niagarafalles nach Ableitung des Stromes nur ein See von etwa 50 m Tiefe entstehen würde.[3] Solche Seebecken können auch immer nur kesselartige Form haben, da die horizontale Komponente der Erosionskraft annähernd gleich 0 ist. Evorsionsbecken, wie sie Geinitz für Norddeutschland annehmen möchte, giebt es in Wirklichkeit nicht.

Hinsichtlich der Bedeutung der Glacialerosion für Seenbildung gehen die Ansichten noch immer weit auseinander. Allgemein zugegeben ist nur die Bildung kleiner und flacher Felsbecken. Die Natur des Gletschereises schließt eine starke vertikale Erosion aus. Wie wir bereits oben zu zeigen versuchten, sind wenigstens bisher für diese keine zwingenden Beweise erbracht worden. Soweit wir die Erosionswirkung der Gletscher sicher kennen, besteht sie nur in der Glättung und Schleifung seines Untergrundes und in einer geringen Ausräumung lockeren Materiales aus vorhandenen Mulden. Gerade diese Ausräumung oder Excavation ist entschieden vielfach überschätzt worden. Sie kann aus theoretischen Gründen niemals bedeutend sein, weil der Gletscher als fließende Masse auch unter großem Drucke bei aufsteigender Bewegung schnell erlahmen muß und so an Transportfähigkeit verliert. Forel bestreitet die Excavation überhaupt ganz.[4] Jedenfalls ist es eine vielfach beobachtete Thatsache, daß der Gletscher über lockeres Material ohne irgendwelche Wirkung hinweggegangen ist und daß er selbst im Bereiche felsigen Untergrundes größere Geschiebe in seinem Bette unverändert liegen gelassen hat.

Unter Berücksichtigung solcher Einschränkung der Seebildung durch Erosion kann die durch Richthofen auf Grund der Bildungsmöglichkeiten gegebene Einteilung der Seen wohl als eine durchaus erschöpfende bezeichnet werden. Er unterscheidet im Anschluß an die Klassifikation der Seen durch den Amerikaner Davis[5] 7 Ordnungen von Seen — Schuttlandbecken, Abdämmungsbecken, Abgliederungsbecken, Ausräumungsbecken, Explosionsbecken, Einbruchsbecken, tektonische Becken —, denen er die Becken der kontinentalen Gliederung als 8. Ordnung hinzufügt. Unter Berücksichtigung der verschiedenen Bildungsweise der Seen der einzelnen Ordnungen findet er folgende 33 Seearten[6]:

I. Schuttlandbecken:

1. Glacialschuttseen, 2. Dünenseen, 3. Korallenschuttseen, 4. Überschwemmungsreste.

Digitized by Google

II. Abdämmungsbecken:
5. Bergsturzseen, 6. Schuttkegelseen, 7. Eisdammseen, 8. Lavastromseen, 9. Endmoränenseen, 10. Hochflutseen, 11. Nebenflußseen, 12. Stromlagunen.

III. Abgliederungsbecken:
13. Einschwemmungsseen, 14. Küstenlagunen, 15. Strandriffseen, 16. Atollseen, 17. Fjordseen, 18. Reversionsseen (nach Penck).

IV. Ausräumungsbecken:
19. Seen glacialer Ausräumung, 20. Seen der glacialen Korrasion, 21. Seen glacialer Rotation, 22. Seen äolischer Ausräumung.

V. Explosionsbecken:
23. Vulkanische Explosionsseen, 24. Kraterseen.

VI. Einbruchsbecken:
25. Vulkanische Einbruchsseen, 26. Auslaugungsseen, 27. Versenkungsseen (Delta).

VII. Tektonische Becken:
28. Longitudinale Faltungsseen, 29. Transversale Faltungsseen (Querfurchen durch Längsfalten abgedämmt), 30. Schichtverwerfungsseen, 31. Gebirgsbruchseen.

VIII. Becken kontinentaler Gliederung:
32. Binnenländische Meeresreste, 33. Zentralbecken der Kontinente.

Vor Davis und Richthofen haben schon Oskar Peschel, Supan und R. Credner sich mit dem Probleme der genetischen Einteilung der Seen beschäftigt.[7] Credner hat im Anschlusse an Peschel zwei Gruppen aufgestellt: die Festlandsseen oder echten Binnenseen und die Reliktenseen, d. s. binnenländische Meeresreste. Zu den letzteren rechnet er alle Seen, welche durch Abdämmung oder Lostrennung von Meeresteilen oder durch Einschrumpfung von Mittelmeeren entstanden sind. Sie fallen z. T. mit den Becken kontinentaler Gliederung zusammen.

Wir gehen auf diesen Einteilungsversuch hier nicht weiter ein, weil ihm gegenüber zweifellos die Klassifikationen durch Davis und Richthofen einen wesentlichen Fortschritt bedeuten. Ihnen haftet vielleicht nur der Fehler an, daß sie zu sehr ins einzelne gehen, weshalb die wirklich vorhandenen Seebecken, deren Bildung vielfach auf mehrere Faktoren zurückzuführen ist, sich nicht immer dem System einordnen lassen. Der Würmsee gehörte zu den Abdämmungsseen, müßte aber unter Umständen gleichzeitig den tektonischen Becken zugerechnet werden. Unter den Abdämmungsseen müssen

Digitized by Google

wir ihn zu den Endmoränenseen zählen, obgleich es fraglich ist, ob nicht auch Flußablagerungen an der Abdämmung beteiligt waren.

Weit einfacher als dieses Davis-Richthofensche System ist die von Supan aufgestellte Einteilung der Seen. Er unterscheidet zunächst 2 große Gruppen: Aufschüttungsbecken und Eintiefungsseen. Die Aufschüttungsbecken sind entweder Dammbecken, bei denen eine Eintiefung einseitig abgedämmt wird, und Wallbecken mit allseitigem Abschlusse. Unter den Eintiefungsbecken haben wir nach Supan zunächst Ausräumungsbecken, deren Bildung also auf Ausräumung durch fließendes Wasser, durch Gletscher oder durch den Wind verursacht ist. Es gehören dazu die Evorsionsbecken, die glacialen Erosionsbecken und die Becken äolischer Ausräumung. Weiter werden Eintiefungsbecken durch unterirdische Vorgänge hervorgebracht. Es entstehen dadurch die Einsturzbecken, die Explosionsbecken und tektonischen Becken, also Faltungs- und Senkungsbecken.

Der Würmsee gehörte nach unserer Auffassung also zu den Dammbecken; der Damm ist durch Aufschüttung von fluviatilem und glacialem Schutt sowie vielleicht durch eine geringe Krustenbewegung gebildet worden.

Noch einfacher ist die Klassifikation der Seen, die uns Forel jetzt in seinem Handbuch der Seenkunde giebt.[9] Er stellt nur 4 Gruppen auf: Tektonische Seen, Erosionsseen, auch als Ausräumungsseen bezeichnet, Dammseen und Seen gemischten Ursprungs.

Den letzteren fiele der Würmsee zu; denn Forel begreift unter diesen Seen solche, welche durch mehrere Faktoren verursacht sind. Die Aufstellung dieser neuen Kategorie ist nach unserem Dafürhalten sehr richtig. Nach den bisherigen Systemen muß der Würmsee als Dammsee bezeichnet werden, ohne daß damit angedeutet ist, in welcher Weise die Abdämmung erfolgte. Auch Forel reiht alle diese Seen noch der Gruppe der Dammseen ein. Die Scheidung zwischen diesen und den Seen gemischten Ursprunges ist nicht scharf. Wir halten aber bei der Entstehung der Seen durch Abdämmung die Art der vorherigen Rinnenbildung für wichtiger noch als die der Stauung des Wassers. Der Würmsee ist in erster Linie eine Erosionsrinne. Dadurch allein wird seine Form und seine Lage charakterisiert. Unsere vorstehende Untersuchung gipfelte ja in der Feststellung dieser Thatsache. Man sollte demnach derartige Dammseen zu den Erosionsseen zählen. In erster Linie ist die Hauptentstehungsursache zu berücksichtigen. Das geschieht bei den oben aufgestellten Klassifikationen zu wenig; darum befriedigen sie nicht immer. Es besteht bei der Entstehung der meisten Seen ein primärer und ein sekundärer Vorgang; durch den primären wird im allge-

Digitized by Google

meinen die Form des Beckens, die Austiefung, durch den sekundären das Vorhandensein des Beckens erklärt. Eine scharfe Scheidung zwischen den beiden Vorgängen wird nicht immer möglich sein, da sie zweifellos oft unmittelbar in einander übergehen.

Von diesem Gesichtspunkte aus können wir die sämtlichen Seen ebenfalls in zwei Gruppen gliedern, indem wir den primären Seebecken die sekundären gegenüberstellen. Als primäre Seen haben wir die zu bezeichnen, welche gleichzeitig mit der Bildung des Bodens überhaupt, also gewissermaßen durch einen einzigen Vorgang entstanden sind. Sekundäre Seen sind solche, welche nach dem Aufbaue des Landes gebildet wurden. Hier kann wieder nur ein einziger Vorgang das Becken geschaffen haben oder es können auch mehrere Ursachen an seiner Bildung beteiligt gewesen sein.

Unter Berücksichtigung der an der Erdoberfläche wirkenden Kräfte haben wir dann folgendes System der Seen:

I. Primäre Seen.
  a) Endogene Bildungen:
    1. Tektonische Becken (Faltungsseen, Gebirgsbruchseen).
    2. Vulkanische Becken (Kraterseen, Explosionsseen, Einbruchsseen).
    3. Becken kontinentaler Gliederung (Binnenländische Meeresreste, Zentralbecken der Kontinente).
  b) Exogene Bildungen:
    1. Ausräumungsbecken (Seen äolischer Ausräumung, Evorsionsbecken, Seen glacialer Ausräumung).
    2. Aufschüttungsbecken (Dünenseen, Schwemmlandseen, Glacialschuttseen, Korallenschuttseen).
    3. Einsenkungsbecken (Auslaugungsseen, Versenkungsseen).

II. Sekundäre Seen.
  a) Endogene Senken:
    1. Tektonische Abdämmung (Tranversale Faltungsseen).
    2. Vulkanische Abdämmung (Lavastromseen).
    3. Schuttabdämmung (Faltungsseen).
  b) Exogene Senken:
    1. Tektonische Abdämmung.
    2. Vulkanische Abdämmung.
    3. Schuttabdämmung (Moränenseen, Nebenflußseen, Stromlagunen, Eisdammseen).

Der Würmsee würde nach unserer Ansicht unter II b 1 und 3 einzurechnen sein, d. h. es ist ein sekundärer See, der durch tekto-

Digitized by Google

nische Abdämmung und glaciale Schuttabdämmung einer exogenen Senke entstanden ist. Die zahlreichen kleinen Wasserbecken in der Umgebung erscheinen dagegen als primäre Gebilde, als Glacialschuttseen, sie gehören also unter I b 2.

In diesem Systeme wird allerdings die geographische Verbreitung der Seen nicht berücksichtigt. Die Seen treten jedoch meist nur in bestimmten geographischen Gebieten auf, sodaß wir gewisse Seenregionen haben. Richthofen unterscheidet auf Grund dessen folgende Seeregionen[10]:

1. Küstenseen, 2. Seen der Flußniederungen, 3. Seen der Faltungsgebirge, 4. Seen der Bruchgebiete, 5. Seen der vulkanischen Gebiete, 6. Seen der Glacialgebiete, 7. Abflußlose Seen der Zentralgebiete, 8. Isolierte Seen.

Der Würmsee würde hierin der 6. Seeregion angehören. Diese Einteilung auf Grund der geographischen Verbreitung der Seen ist in gewisser Beziehung zugleich auch eine genetische, weil die Vergesellschaftlichung der Seen dadurch meist verursacht ist, daß die seebildenden Faktoren vielfach über alle Gebiete einheitlicher Entstehung verbreitet sind. Es wird daher aber auch aus dem genetischen Systeme häufig schon die geographische Eigenart eines Sees zu entnehmen sein, wie ja auch der Würmsee durch seine Entstehung sich deutlich als Glacialsee dokumentiert.

Das gesellige Auftreten der Seen infolge der über weite Flächen einheitlich wirkenden Kräfte hat auch Penck als Einteilungsprinzip für ein System der Wannen, d. i. der Becken, verwendet.[11] Er zählt auf: 1. Wannen der Trockengebiete, 2. Wannen ehemaliger Gletschergebiete, 3. Wannen im Bereiche durchlässiger Gesteine, 4. Wannen der Anschwemmungsgebiete, 5. Wannen der Vulkangebiete, 6. Gebirgswannen.

So sehr auch diese geographischen Einteilungen von Richthofen und Penck als solche befriedigen müssen, so erachten wir sie doch nicht für eine Klassifikation der Seen als ausreichend. Es werden doch dabei zuweilen außerordentlich verschiedenartige Gebilde zusammengefaßt, z. B. bei den Wannen ehemaliger Gletschergebiete und den Gebirgswannen. Wir halten daher die Gliederung der Seen auf genetischer Grundlage für zweckmäßiger, namentlich wenn darin auch die geographische Lage zur Geltung kommt. Das ist aber bei den meisten Systemen, so auch bei dem von uns oben aufgestellten im allgemeinen der Fall. Wo aus der systematischen Stellung die geographische Lage eines Sees nicht ersichtlich ist, wird man leicht durch einen Zusatz dieselbe zum Ausdrucke bringen können.

Digitized by Google

Bei dem Würmsee geht die Zugehörigkeit zu den Wannen ehemaliger Gletschergebiete ohne weiteres aus der Bildung durch glaciale Abdämmung hervor. Während aber aus dieser Zugehörigkeit in keiner Weise ein Schluß auf die eigentliche Entstehung des Sees möglich ist, erhalten wir durch die Kennzeichnung des Sees als glaciale und zugleich tektonische Abdämmung einer exogenen Senke, die nach unserer Darstellung ein altes Flußthal ist, sofort eine vollständige Vorstellung sowohl von der Bildung des Sees, sowie von der Form seines Beckens.

Erschöpfend würde die Charakterisierung des Würmsees nach dem obigen Systeme mit folgenden Worten zu geben sein:

Der Würmsee ist eine sekundäre Bildung; er stellt eine durch Wassererosion geschaffene exogene Senke, also ein Flußthal, dar, die durch Gletschereis vor Ausfüllung geschützt und durch glaciale und fluvioglaciale Ablagerungen sowie vermutlich durch eine geringe Bewegung des Bodens abgedämmt wurde.

Litteratur.

[1] Ferd. von Richthofen, Führer für Forschungsreisende. Berlin 1886. S. 263.

[2] F. E. Geinitz, Über die Entstehung der mecklenburgischen Seen. (Archiv 39 d. Vereins d. Freunde d. Naturw. in Mecklenburg.) — Derselbe, Die Seen, Moore und Flussläufe Mecklenburgs. Güstrow 1886.

[3] F. A. Forel, Handbuch der Seenkunde. Stuttgart 1901. S. 15.

[4] F. A. Forel, Handbuch u. s. w. S. 16.

[5] William M. Davis, On the classification of the basins. (Proceed. Boston Soc. Nat. History, vol. XXI) 1882.

[6] F. von Richthofen, Führer u. s. w. S. 263.

[7] R. Credner, Die Reliktenseen. (Ergänzungshefte 86 und 89 zu Petermanns Mitt.) Gotha 1887 und 88.

[8] A. Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde. Leipzig, 2. Auflage, 1896. S. 531.

[9] F. A. Forel, Handbuch u. s. w. S. 12.

[10] F. v. Richthofen, Führer u. s. w. S. 282.

[11] A. Penck, Morphologie der Erdoberfläche. Stuttgart 1894. II. Band S. 203 u. f.

Digitized by Google

II. Die physikalischen Verhältnisse.

Einleitendes.

Besondere Sorgfalt wurde der Erforschung der physikalischen Verhältnisse im Würmsee zugewandt. Einmal stehen diese jetzt überhaupt im Vordergrunde des Interesses. Aus allen Teilen der Erde ist gegenwärtig Material zur Klärung der physikalischen Erscheinungen herbeigebracht worden und mit der Anhäufung solchen Beobachtungsmaterials hat gleichzeitig das Problem an Reiz und Vielseitigkeit gewonnen. Die genaue und eingehende Forschung im Würmsee konnte manchen Beitrag zur Lösung der unserer bisherigen Kenntnis erwachsenen Probleme liefern, und das um so mehr, als hier ein Becken vorliegt, das sich in mancher Hinsicht besonders für derartige Untersuchungen eignet. Der See ist ein völlig abgeschlossenes Becken, das nur durch kleine Bäche gespeist wird, also wirklich stehendes Wasser enthält. Überdies ist sein Zuflußgebiet so gering, daß die Eigenart dieses sich leicht überschauen läßt und jeder Einfluß desselben auf die Natur des Wassers wohl zu erkennen und nachzuweisen wäre. Weiter ist das Becken trotz der Mannigfaltigkeit seines Reliefs im einzelnen doch im ganzen einförmig; namentlich fehlen ausgedehnte Untiefen, die nach unseren Erfahrungen im baltischen Seegebiete auf die physikalischen Eigenschaften des Wassers von großem Einflusse sind. Endlich hat der See einen ziemlich konstanten Wasserstand und das Wasser selbst ist nicht unerwarteten Änderungen in seiner chemischen und physikalischen Beschaffenheit ausgesetzt. Alle diese Zustände lassen erwarten, daß die physikalischen Erscheinungen im See in einer klareren und übersichtlicheren Form auftreten als in anderen Gewässern.

Die Untersuchungen erstreckten sich in erster Linie auf die Temperatur, sowie auf die Farbe und die Durchsichtigkeit des Wassers. Soweit es möglich war, wurden aber auch die statischen und dyna-

Digitized by Google

mischen Vorgänge beobachtet. Für die Durchführung dieser Untersuchung war es außerordentlich störend, daß der Verfasser nur immer vorübergehend am See sich aufhielt und er außerdem immer auf sich allein angewiesen war. Eine ganze Reihe von Erscheinungen erforderten auf längere Zeit, womöglich auf ein ganzes Jahr, ausgedehnte Beobachtungen, andere einen Aufwand von Mühe, der die Kraft eines einzelnen überstieg.

Das von uns gewonnene Material zeigt darum manche Lücke; doch auch in solchen negativen Ergebnissen liegt für die Forschung ein Gewinn, indem durch sie uns klarer vor Augen geführt wird, was es noch zu thun giebt, und oft auch weisen sie uns den Weg, auf dem wir künftig zu schreiten haben.

Die Temperatur des Wassers.

Oberflächentemperatur.

Das reichhaltigste und wohl auch wertvollste Material lieferten die Temperaturbeobachtungen.

Aber auch sie zeigen große Lücken. So fehlen fortgesetzte Messungen der Temperatur an der Oberfläche. Allein diese erhalten nur dann einen wirklichen Wert, wenn sie womöglich täglich, ja mehrmals täglich ausgeführt werden und sich auf alle Monate eines Jahres oder besser mehrere Jahre ausdehnen. Das zu erreichen, war für den Verfasser unmöglich. Anwohner zu solchen Beobachtungen anzuregen, schien ihm nicht ratsam, da er früher dabei schlechte Erfahrungen gesammelt hatte und überdies solche Messungen nicht so einfach sind, daß sie ohne weiteres von jedermann ausgeführt werden könnten. Auch von der Benutzung früherer Beobachtungen wurde abgesehen, weil es nicht mehr möglich war, über deren Zuverlässigkeit sich ein richtiges Urteil zu bilden.

Die Temperatur an der Oberfläche des Sees wurde daher nur bestimmt, wenn der Verfasser sich überhaupt zu irgend welchen Beobachtungen auf dem See befand. Die Ergebnisse dieser Messungen haben freilich nur einen sehr bedingten Wert. Da sie nicht immer zur selben Stunde des Tages und bei derselben Witterung ausgeführt wurden, sind sie nicht ohne weiteres vergleichbar; sie sind infolge der täglichen Änderung der Temperatur mit einem zuweilen nicht unerheblichen Fehler behaftet. Gleichwohl können uns unter Berücksichtigung dieser Fehler die gewonnenen Resultate manches Interes-

Digitized by Google

sante lehren. Wir stellen sie darum in der folgenden Tabelle zusammen.*)

Oberflächentemperaturen.

	März	Mai	Juni		August					September						Oktober	
	1894	1894	1895	1896	1894	1895	1896	1897	1899	1893	1894	1895	1896	1897	1899	1894	1895
1	. .	. .	16,6	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
2	. .	. .	14,6	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
3	. .	. .	16,5	. .	. .	. .	19,9	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
4	. .	. .	16,9	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
5	. .	. .	16,8	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	15,7	. .	20,7*	. .	. .
6	. .	. .	17,0	. .	. .	. .	. .	. .	22,0	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	15,2
7	. .	9,1	16,3	. .	. .	. .	. .	. .	22,0	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
8	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	21,4	. .	. .	21,8	. .	. .	. .	. .	14
9	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	21,0	. .	. .	. .	16,9	. .	. .	12,9	. .
10	. .	. .	. .	15,2*	. .	. .	. .	. .	21,0	. .	. .	. .	17,4*	. .	. .	. .	. .
11	. .	. .	17,2*	. .	19,0	. .	. .	. .	21,0	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
12	. .	. .	16,7	. .	. .	. .	. .	. .	20,7	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
13	. .	. .	. .	. .	. .	18,9	. .	. .	20,6	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
14	. .	. .	. .	. .	17,1	. .	. .	. .	20,9	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
15	. .	. .	. .	. .	18,4*	. .	. .	. .	21,8	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
16	3,1	. .	. .	. .	18,0	. .	. .	. .	21,7	. .	. .	18,0	. .	. .	. .	. .	. .
17	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	20,6	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
18	. .	. .	. .	. .	17,3	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	15,1	. .	. .	. .
19	. .	. .	. .	. .	16,9	. .	. .	. .	20,6	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
20	. .	. .	. .	19,1	16,7	18,6	. .	. .	19,7	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
21	. .	. .	. .	. .	. .	19,9*	. .	20,1	19,4	17,3	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
22	. .	. .	. .	. .	16,8	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
23	. .	. .	. .	. .	16,8	. .	. .	. .	19,5	16,8	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
24	. .	. .	. .	. .	18,9	. .	. .	. .	20,5	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
25	. .	. .	. .	. .	18,4	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
26	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	15,1	. .	. .	. .	. .	. .	. .
27	. .	. .	. .	. .	21,0*	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
28	. .	. .	. .	. .	21,5*	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
29	. .	. .	. .	. .	20,7*	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
30	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
31	. .	. .	. .	. .	19,4	20,0	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .
	3,4	9,1	19,5	17,1	18,5	19,3	19,9	20,1	20,8	16,8	15,1	19,9	16,7	15,1	20,7	12,9	15,2
			16,8		19,7					17,4						14,0	

Dieser Tabelle haben wir noch ergänzend hinzuzufügen:

24. Juli 1900	9. Januar 1901
23,9°	4,8°

Die Beobachtungen, welche fast sämtlich mit einem sogenannten Quellenthermometer ausgeführt wurden, erstrecken sich über die Zeit von März bis Oktober. Im Winter ist der Verfasser leider nur einmal am See gewesen. Doch es ist anzunehmen, daß vom Herbst bis zum Frühling eine allmähliche Abnahme der Temperatur stattgefunden hat, die vermutlich zeitweise unter 0° sinkt. Denn der See friert fast in jedem strengen Winter auf größere Strecken, oft sogar ganz zu.

Beobachtungen über das Gefrieren des Sees sind dem Verfasser nur aus dem Winter 1894—95 zugegangen. In diesem Winter

*) Die mit einem * versehenen Zahlen sind aus mehreren Beobachtungen des betreffenden Tages ermittelt.

Digitized by Google

hat Herr Lehrer Sedlmayr in Bernried folgende Aufzeichnungen gemacht:

1894, vom 30. November bis 1. Dezember: Eisbildung in Teichen und Weihern in der Umgebung des Sees, der See selbst eisfrei.

1895, am 12. und 13. Januar: Größere Flächen des Sees überziehen sich mit dünnem Eise. Heftiger Wind und Tauwetter zerstören aber das Eis wieder.

Am 31. Januar und 2. Februar: Der See friert vollständig zu, sodaß er nach allen Richtungen begangen werden konnte.

Ende März trat Tauwetter mit Regen ein, was das allmähliche Schmelzen des Eises zur Folge hatte.

Vom 1. bis 3. April wurde der See wieder eisfrei.

Diese Eisverhältnisse entsprechen ganz den allgemeinen Witterungszuständen und lehren darum zugleich, wie eng die Wassertemperatur mit der Lufttemperatur in Zusammenhang steht. Nach den Witterungsberichten trat Ende November 1894 eine vorübergehende Kälteperiode ein. Der Dezember war im übrigen aber warm, weshalb es auch nicht zu Eisbildungen kam. Anfang und Mitte Januar sank dann die Temperatur; aber ehe die Temperatur des Seewassers sich bis zum Gefrieren abkühlen konnte, trat unter dem Einfluß einer Depression Tauwetter ein. Am Ausgange des Monats hatten wir dagegen wieder strengen Frost, der dann während des ganzen Februar und März anhielt. Diese andauernde und anfangs sehr strenge Kälteperiode bewirkte ein schnelles Zufrieren des Sees und eine zwei Monate lange Dauer der Eisdecke, die erst einige warme Tage des April ganz aufzulösen vermochten.

Aus diesen vereinzelten Beobachtungen erhalten wir immerhin ein Bild von dem Gange der Wassertemperatur an der Oberfläche des Sees während des Winters, für den uns ausführlichere Messungen fehlen. Mit der Erniedrigung der Lufttemperatur sinkt auch die Wasserwärme; aber der Gang vollzieht sich nicht gleichzeitig, sondern die Wassertemperatur hinkt nach. Das Wasser besitzt eine zu große Wärmekapazität, als daß es sich so schnell abkühlen könnte, wie die Luft. Zugleich stellen auch die tieferen Schichten ein Wärmereservoir dar, wodurch ebenfalls eine rasche Abkühlung an der Oberfläche verhindert wird. Endlich erschwert auch die starke Bewegung der ausgedehnten Wasserfläche die Eisbildung. In den Teichen und Weihern gefriert daher das seichtere und weniger den Winden ausgesetzte Wasser bereits bei der ersten Kälteperiode im Anfang Dezember. Hier fehlt es natürlich auch an ausreichendem Wärmeersatze aus der Tiefe. In dem See schafft erst eine andauernde

Digitized by Google

Kälte die bleibende Eisdecke; die Abkühlung in der Mitte des Januar war dafür nicht stark und anhaltend genug.

Eine andauernde Kälte hatten wir auch zu Anfang des laufenden Jahres 1901. Der Verfasser hat sich darum auch im Januar an den See begeben, um Beobachtungen über die Temperaturverhältnisse unter dem Eise anzustellen. Allein trotzdem schon fast 14 Tage die Lufttemperatur allnächtlich unter -10 bis -15° gesunken war, zeigte der See doch nur nahe dem Ufer in geschützten Buchten eine Eisdecke. Das Wasser hatte noch eine Temperatur von 4,8° an der Oberfläche. Annähernd die gleiche Wärme fand sich bis zum Grunde des Sees. Daraus erklärt sich ohne weiteres das Fehlen der Eisdecke. Das Wasser konnte sich trotz der strengen Kälte noch nicht bis zum Gefrierpunkte abkühlen, weil in den tieferen Schichten noch zuviel Wärme aufgespeichert war.

Mit März beginnen unsere häufigeren Beobachtungen. Die betreffende Messung wurde am 16. März 1894 vorgenommen. Die voraufgegangene Zeit zeichnete sich durch warme Witterung aus. Trotzdem finden wir nur 3,4°. Das mag etwa die Temperatur sein, welche wir stets nach dem Ende des Winters und zwar nach dem Verschwinden der Eisdecke finden. Im Laufe des April und Mai steigt dann die Temperatur an der Oberfläche nur allmählich. Hier verhindern die noch sehr kühlen Nächte und die häufigen Kälterückfälle eine stärkere Erwärmung. Das ändert sich offenbar, sobald dauernd wärmere Tage eintreten, wie es Ende Mai 1895 der Fall war, was für den Anfang Juni schon eine Oberflächentemperatur von 16,6° bewirkte.

Dieser Temperatur begegnen wir in kühleren Witterungsperioden auch noch im Hochsommer, im August. Wir dürfen darum selbst auf Grund unserer lückenhaften Beobachtungen die Thatsache behaupten, daß während der Sommermonate die Oberflächentemperatur im Starnberger See eine ziemlich konstante ist. Sie bewegt sich in den Monatsmitteln nur um wenige Grade und scheint auch in den Tagesmitteln keine erheblichen Schwankungen zu erleiden. Die höchste Temperatur in der Zeit von Juni bis einschließlich September betrug 23,9°, die niedrigste 14,6°, also nur ein Unterschied von 9,8°. Dabei sind aber noch im September 21,8° und im Juni schon 17,2° beobachtet worden. Außerdem ist die hohe Temperatur im Juli 1900 die Folge einer andauernden Hitze, wie sie nur selten beobachtet ist. Weiter ist die Messung zur Zeit der höchsten Erwärmung am Tage ausgeführt. Unter gewöhnlichen Verhältnissen steigt die Wassertemperatur selten über 22°, wie das auch unsere Tabelle zeigt.

Digitized by Google

Die Beständigkeit der Wärmeverhältnisse im Sommer ergiebt sich auch aus unseren Mittelwerten für die einzelnen Monate: für Juni 16,8, für August 19,7 und für September 17,4°. Der Juli, für den nur eine Beobachtung vorliegt, mag etwa zwischen Juni und August stehen. Wenn unsere Mittelwerte auch nur aus wenigen Einzelbeobachtungen gewonnen sind, so dürften sie doch den allgemeinen Zustand darstellen, da die Schwankungen der Oberflächentemperatur auch von Tag zu Tag nur sehr gering sind. Überdies zeigt ein Vergleich mit den entsprechenden Werten im Bodensee eine auffallende Übereinstimmung in dem Gange der Temperatur, sodaß auch daraus sich die allgemeine Giltigkeit unserer Resultate ergiebt.[1]

	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Würmsee	—	—	3,4	—	9,1	16,8	—	19,7	17,4	14,0	—	—
Bodensee	3,7	3,0	3,6	5,3	11,2	16,0	18,3	19,1	15,7	11,7	8,2	5,0

Dieser Gang der Oberflächentemperatur ist theoretisch leicht zu erklären. Im Mai und Juni erwärmt die höher stehende Sonne schnell das Wasser an der Oberfläche. Die Wärme bleibt im Wasser dann infolge seiner großen Wärmekapazität den ganzen Sommer über bestehen, nächtliche Abkühlungen vermögen sie nur wenig zu erniedrigen, zumal da im Laufe des Sommers die Wärme immer tiefer eindringt. Weiter tritt nur nach heißen Zeiten noch eine oberflächliche Erwärmung ein, die aber in kühleren Perioden wieder verschwindet, jedoch nur soweit, als es die Wärme in den tieferen Schichten, die einen steten Ersatz für den Wärmeverlust an der Oberfläche liefert, gestattet. Im Herbste greift nun die Abkühlung immer tiefer in das Wasser ein, umfaßt also stets eine größere Wasserschicht zugleich, wodurch die sehr langsame Temperaturabnahme an der Oberfläche vom Sommer zum Winter erklärt wird. Sie erstreckt sich bis in das nächste Jahr hinein, wie unsere Messung am 9. Jan. 1901 lehrt.

Die einzelnen Beobachtungswerte zeigen ebenfalls eine ziemliche Beständigkeit, sowohl in der Änderung der Temperatur von Tag zu Tag, wie in dem Grade der Wärme von Jahr zu Jahr. Wo größere Temperatursprünge auftreten, erklären sie sich leicht aus den Witterungsverhältnissen. Trotz der Beständigkeit der Temperatur ist überhaupt ein enger Zusammenhang mit dem jeweiligen Wetter unverkennbar. Jede Wärmeperiode in der Luft kommt auch im Wasser zur Erscheinung. Lehrreich sind dafür die Beobachtungen im August 1894. In der Zeit vom 11. bis 16. herrschte warmes Wetter, dann setzte eine kühlere regnerische Zeit ein, während der die Wassertemperatur sich um fast 2° erniedrigte. Gegen Ende des Monats wurde es aber wieder heiß, wodurch die Wärme im Wasser auch sogleich wieder um mehrere Grad erhöht wurde.

Digitized by Google

Einen großen Einfluß auf die Oberflächentemperatur hat zweifellos der Regen. Durch ihn wird sie stets erheblich erniedrigt. Am 1. Juni 1895 waren an der Oberfläche 16,6 ° beobachtet, nachts trat starker Regen ein; infolgedessen finden sich am anderen Tag nur noch 14,6 °. Diese Abkühlung begreift jedoch nur die oberste Schicht und ist in ihrer Größe abhängig von der Temperatur der tieferen Schichten. Im August 1894 bemerken wir daher trotz vielen Regens immer nur eine geringe Wärmeabnahme, meist noch nicht 1 °; damals war die Wärme schon tiefer in das Wasser eingedrungen und die Abkühlung konnte unter diese Temperatur in der Tiefe nicht herabgehen. Aber der Regen bewirkte doch eine konstante Wärmeabnahme vom 15. bis zum 20. August. Vom 21. an hört der Regen auf und es beginnt ein wärmeres Wetter, was sich auch sofort in der Wassertemperatur bemerkbar macht.

Änderungen der Oberflächentemperaturen während des Tages.

1894 15. August heiter	Temp.	27. August heiter	Temp.	28. August heiter	Temp.	29. August trüb	Temp.
8h am	17,6	6h 30m am	20,0	6h am	19,5	6h 30m am	20.6
11h am	18,1	12h Mt.	21,9	12h Mt	21,4	7h 30m am	20.6
5h pm	19,6	1h 30m pm	22,0	1h pm	23,5	12h Mt.	20.8
		6h pm	20,1				
Beobachtete Amplitude	2,0		2,0		4,0		0.2

1895 11. Juni trüb	Temp.	21. August heiter	Temp.	1896 10. September heiter	Temp.	1899 5. September heiter	Temp.
7h 30m am	16,8	7h am	18,9	9h am	17,0	9h am	19.7
9h am	17,4	8h am	19,4	9h 45m am	17,3	9h 40m am	20.0
		8h 45m am	19,9	10h 40m am	17,6	10h 20m am	20.7
		9h 45m am	20,3	11h 45m am	17,7	11h 05m am	21,2
		10h am	20,4			11h 42m am	21.3
		11h 30m am	20,3				
Beobachtete Amplitude	0,6		1,4		0,7		1.6

Für die tägliche Änderung der Temperatur liegen ebenfalls nur vereinzelte Beobachtungen vor. Wir haben sie in der vorstehenden Tabelle zusammengestellt. Wieder erkennen wir einen engen Zusammenhang mit der Witterung. An heiteren Tagen erreicht die tägliche Schwankung stets mehrere Grade, während trübe Tage, wie der 29. August, kaum eine Änderung aufweisen. Die Wärme nimmt stets bereits in den ersten Vormittagsstunden schnell zu, steigt

Digitized by Google

aber dann bis zum Abend nur ganz allmählich. Die Größe der Amplitude ist je nach der Witterung sehr verschieden; der höchste von uns beobachtete Wert betrug 4° am 28. August 1894.

Der Gang der Temperatur ist an den einzelnen Tagen und sehr wahrscheinlich auch an verschiedenen Punkten des Sees nicht immer der gleiche. Wir haben wiederholt an der Oberfläche des Wassers derartige Abweichungen feststellen können. Gleichzeitige Beobachtungen an verschiedenen Stellen des Sees würden uns darüber sicher interessante Resultate liefern. Nach den Beobachtungen in den großen Seen Nordamerikas, über die Norman G. Conger jüngst berichtet hat, können die Temperaturen zwischen der Mitte und am Strande eines Sees um mehr als 11° von einander abweichen.[2]

Über die Art der Erwärmung des Wassers lieferten Beobachtungen mit dem Schwarzkugelthermometer interessante Aufschlüsse. Es unterliegt heute keinem Zweifel mehr, daß das Wasser in erster Linie durch die Sonne erwärmt wird; aber es scheint nur ein Teil der Sonnenwärme in das Wasser wirklich einzudringen, ein erheblicher Teil wird offenbar reflektiert und durch den Vorgang der Verdampfung aufgebraucht. Die wasserdampfreiche Luft über dem Wasser absorbiert dann vermutlich auch noch einen Teil der Sonnenwärme.

Zu solchen Schlußfolgerungen wird man gedrängt durch die Beobachtungsresultate mit dem Schwarzkugelthermometer. Dieses wurde mehrmals im Boote und unmittelbar auf dem Wasser der Sonnenstrahlung ausgesetzt. Im letzteren Falle schwamm das Thermometer auf dem Wasser und zwar so, daß die Glaskugel, welche die geschwärzte Quecksilberkugel umgiebt, zu $^3/_4$ etwa ins Wasser eintaucht. Das Ergebnis der Wärmebestimmung war folgendes:

	11. August	24. August	5. September
Im Boote	47—51,6°	54,4	61,6°
„ Wasser	38—39,5°	41,0	39—41°

Zwischen der Insolation im Boote und der auf dem Wasser zeigt sich also konstant ein ganz bedeutender Unterschied, der am 5. September über 20° erreicht. Auch noch dann, wenn das Schwarzkugelthermometer frei über Wasser gehalten wurde, ergab sich eine erheblich geringere Insolationswärme. Diese auffallende Verminderung der Insolation läßt sich nur in der obigen Weise erklären. Es wird daraus begreiflich, warum selbst an sehr heißen Tagen das Wasser auch an der Oberfläche verhältnismäßig so wenig erwärmt wird. Für das Wasser geht überdies infolge der Reflexion und der Verdunstung an der Oberfläche noch ein großer Teil der Sonnenstrahlung verloren.

Digitized by Google

Diese Beobachtungen wurden im Sommer 1900 an einigen anderen Seen wiederholt. Dabei wurde das Thermometer auch senkrecht in das Wasser eingetaucht, sodaß die Kugel etwa 20 cm unter der Oberfläche lag. Es fand sich

	im Wasser	an der Oberfläche	in der Luft
Schliersee	39,3 °	40,3 °	45,2 °
Königssee	41,8	41,8	57,0 ° (Boot)
Walchensee	—	34,7	45,4 (Boot 55,0).

An der Oberfläche und in 20 cm Tiefe herrschen also fast die gleichen Strahlungstemperaturen. Diese sind am größten im Boote, wo noch die Strahlung des Holzes zur Wirkung kommt.

Das Schwarzkugelthermometer wurde eigentlich zu einem ganz anderen Zwecke angewendet. Es sollte untersucht werden, ob über dem Wasser und auf dem Lande eine verschiedene Strahlungswärme bestehe. Diese Untersuchung führte jedoch zu keinem positiven Resultate. Gleichwohl sind wir der Überzeugung, daß eine Erhöhung der Wärmestrahlung über dem Wasser vorhanden ist, da ja sicher ein Teil der Wärme von der spiegelnden Wasserfläche reflektiert werden muß. Diese größere Wärmestrahlung kommt deutlich in unseren Zahlen für die Beobachtungen im Boote zum Ausdrucke. Den Unterschied zwischen der Strahlungstemperatur in der Luft und im Boote, der nach der Beobachtung im Walchensee 10 ° erreicht, veranschaulicht zweifellos deutlich das abweichende Verhalten einer Wasserfläche zur Sonnenstrahlung gegenüber einer Landfläche.

Auch der Frage nach dem Einflusse der häufig höheren Wassertemperatur auf die Lufttemperatur wurde während des Aufenthaltes am See besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Zu einer exakten Prüfung der Verhältnisse fehlten dem Verfasser sowohl Instrumente wie auch Beobachter. Dagegen kam er auf Grund sorgfältiger Schätzung wiederholt zu der Überzeugung, daß von dem See aus zuweilen eine Erwärmung der Luft stattfindet. Diese Erwärmung trat abends am deutlichsten in die Erscheinung. Auf dem feuchten Boden in der Umgebung des Sees macht sich sofort nach Sonnenuntergang wie auf Moorflächen eine starke Abkühlung bemerkbar, die namentlich in den zahlreichen Bodenmulden leicht fühlbar wurde. Näherte man sich an solchen Abenden dem See, so spürte man stets ganz zweifellos eine Erwärmung, während doch gerade umgekehrt in den tieferen Senken des Bodens eine Abkühlung zu erwarten sein mußte. Diese höhere Temperatur in der unmittelbaren Umgebung des Sees an kühlen Abenden ist so oft von dem Verfasser beobachtet

Digitized by Google

worden, daß über ihr thatsächliches Vorhandensein kein Zweifel bestehen kann. Vermutlich aber ist das Mehr an Wärme sehr gering und nur mit sehr feinen Thermometern nachweisbar. Unser Gefühl für kleine Wärmeänderungen ist ein außerordentlich feines, wir empfinden bereits Wärmeänderungen, die sich an einem gewöhnlichen Thermometer kaum wahrnehmen lassen.

Als Beispiel dafür möge eine andere häufig gemachte Beobachtung dienen. Wir erwähnten bereits oben, daß die Oberflächentemperatur im Wasser sicher nicht aller Orten zur gleichen Zeit die gleiche sei. Das spüren wir am deutlichsten, wenn wir die Wärme an uns selbst messen. Jeder, der in einem See gebadet hat, wird sicher bemerkt haben, daß die Wasserwärme sich oft beständig ändert. Bei dem Schwimmen kommt man bald in kühlere, bald in wärmere Wasserschichten. Der Verfasser hat versucht, diese Änderungen an einem mitgeführten Thermometer festzustellen. Der Versuch blieb jedoch erfolglos, das Thermometer änderte seine Stellung nicht, oder nur so wenig, daß es nicht sichtbar war. Vielleicht könnten durch selbstregistrierende, sehr empfindliche Instrumente die kleinen Wärmeschwankungen doch nachgewiesen werden. Vorhanden sind sie auf jeden Fall, sie stellen sich vermutlich dar als die Folgen einer steten Bewegung des Wassers, wodurch verschieden temperierte Schichten fortwährend miteinander wechsellagern.

Litteratur.

[1] F. A. Forel, Die Temperaturverhältnisse des Bodensees. (Schriften des Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung. XXII). Lindau 1893.

[2] Monthly Weather Review, 1899. Siehe Referat in Hettners Geographischer Zeitschrift, 1900, S. 175.

Tiefentemperatur.

Methodisches.

Bei der Untersuchung der vertikalen Temperaturverteilung im Würmsee galt es vor allem, die Änderungen in der Wärmeverteilung während des Jahres sowie nach kleineren Witterungsperioden festzustellen. Durch Richter, Hergesell und Langenbeck waren völlig neue Thatsachen über die thermischen Zustände innerhalb eines Seebeckens ermittelt worden; diese sollten ergänzt und die Ursachen ihres Werdens thunlichst aufgeklärt werden.[1]

Leider haben die Messungen nicht in dem Umfange ausgedehnt werden können, wie es ursprünglich geplant war und im Interesse

Digitized by Google

der Sache wünschenswert gewesen wäre. Die Ungunst der Witterung vereitelte eine planmäßige Durchführung der Beobachtungen. Namentlich war in den Sommermonaten 1895 und 1896 das Wetter so unbeständig, daß es ganz unmöglich war, die Messungen mehrere Tage hintereinander zu den gleichen Stunden fortzusetzen.

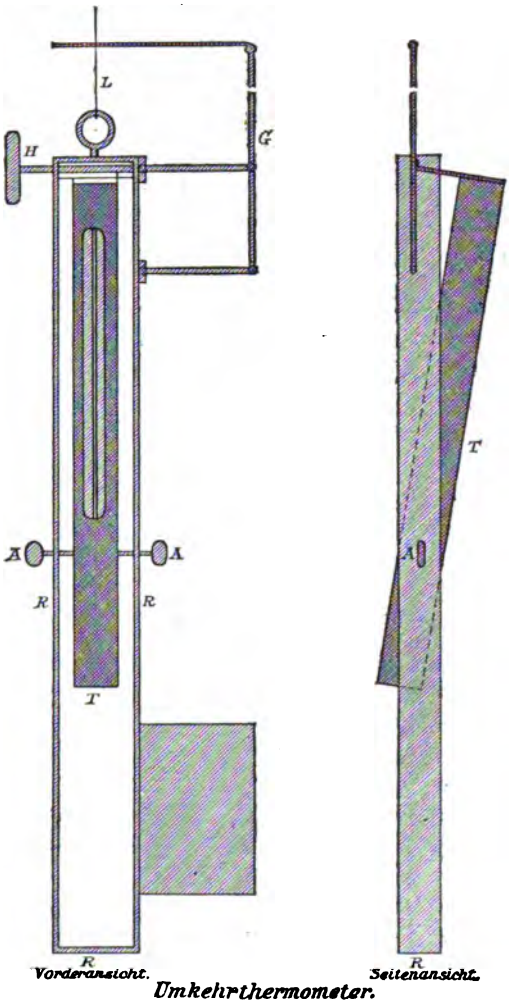
Die sämtlichen Tiefentemperaturen wurden in der Form sogenannter thermischer Lotungen gewonnen, d. h. es wurden stets in einer lotrechten Linie in bestimmten Tiefenabständen hintereinander Temperaturbeobachtungen ausgeführt.

Soweit es irgend anging, wurden die thermischen Lotungen immer an derselben Stelle ausgeführt. Diese lag 1894 und 1895 in der Richtung Kirche Bernried-Schloß Ammerland etwa 1000 m vom westlichen Ufer entfernt, 1896 und 1897 dagegen in der Richtung Schloß Bernried-Kapelle Ambach, ebenfalls in einer Entfernung von 1000 m vom Westufer. Da an diesen beiden Punkten die Maximaltiefe noch nicht 80 m erreichte, eine Bestimmung der Temperatur in größeren Tiefen aber wünschenswert erschien, so wurden mehrmals auch noch westlich Schloß Seeburg im Bereiche der tiefsten Senke des Seebodens thermische Lotungen ausgeführt. 1900 und 1901 sind endlich noch einige Messungen bei Leoni vorgenommen worden. Auf der Karte der Lotungen (Tafel II) sind die betreffenden Stellen durch ein besonderes Zeichen angegeben.

Als Instrument diente das bekannte Tiefseethermometer von Negretti und Zambra. Dieses wurde aber nicht in dem üblichen Holzrahmen mit Schrotbelastung benutzt, sondern es war mit einer besonderen, durchaus zuverlässigen Umkehrvorrichtung versehen, die wir in der beistehenden Figur veranschaulicht haben. Das in eine Metallhülle eingelegte Thermometer (*T*) wird in einem Rahmen (*R*) so aufgehängt, daß es sich um eine horizontale Achse (*A*) drehen kann. Die Achse liegt etwas oberhalb des Schwerpunktes, sodaß das Instrument immer in einer bestimmten Lage im Rahmen hängt und herausgebracht stets wieder in diese zurückkehrt. Darauf beruht die neue Umkehrvorrichtung. Das Thermometer wird vor der Messung nach oben umgelegt und in dieser Lage durch einen Hebel (*H*) festgehalten. Es hat dann die Stellung, in der die Temperatur gemessen wird. Der erwähnte Hebel ist nun weiter mit einem Gestänge (*G*), ähnlich dem der bekannten Briefwagen, verbunden. Das Gestänge greift oberhalb des an der Lotleine befestigten Rahmens um die Leine (*L*) herum. Eine Verschiebung des Gestänges nach unten hebt den Hebel, welcher das Instrument hält, und dieses fällt oder kippt um in die Lage, welche es unter dem Einflusse der Schwere einnehmen muß. Die Verschiebung des Gestänges aber

Digitized by Google

wird bewirkt durch ein Gewicht, das man längs der Lotleine herabfallen läßt. Sobald das Gewicht das Gestänge erreicht, drückt es dieses nach abwärts, löst den Hebel, und das Thermometer kippt um.



Umkehrthermometer.

Der Vorzug dieser Umkippvorrichtung liegt einmal darin, daß das Umkippen mit absoluter Gewißheit erfolgt und ein vorheriges Umkippen, wie es bei Holzrahmen sich einstellen kann, so gut wie ganz ausgeschlossen ist, weiter aber auch darin, daß die Umkehr genau an der Stelle geschieht, wo die Messung vorgenommen ist. Bei

Digitized by Google

der ursprünglichen Einrichtung der Umkehrthermometer im Holzrahmen, ebenso wie bei der für Tiefseebeobachtungen getroffenen Einrichtung mit Propeller vollzieht sich das Umkippen durch Zug erst allmählich, wodurch doch kleine Änderungen des Thermometerstandes bewirkt werden können, da die Temperaturunterschiede in einzelnen Schichten

Tiefentemperaturen I.

1894												
Datum	16./3.	7./5.	11./8.	14./8.	15./8		16./8.	18./8.	19./8.	20./8.	22./8.	23./8.
Stunde	11—12 am	3—4 pm	5—6 pm	9—11 am	9—11 am	5—7 pm	8—10 am	8—10 am	8—10 am	8—10 am	6—8 pm	8—10 am
Wetter Bew.	9	9	9	2	0	1	8	10	10	9	2	1 Cirrw.
Wind	2	0	2	2—4	0	0	2—0	2	2	2	0	0
Tiefe m												
0,0	3,40	9,10	19,00	17,40	17,60	19,60	18,00	17,30	16,90	16,70	16,80	16,90
2,5	3,30	9,00	19,00	17,40	17,30	18,00	18,00	17,30	16,95	16,70	—	16,70
5,0	3,30	7,50	19,00	17,40	17,30	17,50	17,30	17,30	16,95	16,70	16,40	16,60
7,5	—	7,20	17,40	17,30	17,30	17,30	17,20	17,30	16,95	16,70	16,30	16,60
10,0	3,30	6,90	16,80	16,30	16,60	17,00	17,00	15,20	15,80	16,70	16,10	16,20
12,5	—	6,20	11,80	12,70	15,10	14,00	13,20	12,00	12,00	13,05	13,25	14,70
15,0	3,30	5,70	8,80	9,70	12,40	11,10	9,50	9,30	10,00	9,40	9,40	12,00
17,5	—	5,50	8,20	—	8,20	8,20	7,30	7,70	8,10	7,70	7,70	7,90
20,0	3,30	5,30	6,60	—	7,40	7,20	6,30	7,00	7,15	6,90	6,50	6,60
25,0	—	4,90	5,70	—	5,90	5,90	5,50	5,30	5,70	5,30	5,40	5,50
30,0	3,30	4,80	4,80	—	5,10	5,10	5,00	5,10	5,00	5,00	5,05	5,05
40,0	3,30	4,40	4,30	—	4,50	—	4,40	4,50	4,35	4,30	4,30	4,35
50,0	3,40	4,20	4,20	—	4,20	—	4,20	4,20	4,20	4,20	4,20	4,25
60,0	3,40	—	—	—	4,00	—	4,05	4,05	—	4,05	—	4,05
70,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
80,0	3,40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ergänzungsmessungen.	—	m 4 : 8,5	m 11 : 14,0	—	m 11 : 15,5	m 1 : 18,7	m 2,5 : 18,0	m 9 : 17,3	m 65 : 4,0	m 11 : 16,7	—	m 15,0 : 16.7
	—	—	14 : 10,0	—	12 : 15,4	—	5,0 : 17,3	—	9 : 16,95	12 : 18,7	—	14,0 : 12.3
	—	—	—	—	13 : 14,7	—	10,0 : 17,0	—	—	—	—	12,5 : 13.3
	—	—	—	—	14 : 13,0	—	15,0 : 9,8	—	—	—	—	12,5 : 15.4
	—	—	—	—	15 : 11,5	—	20,0 : 6,3	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	16 : 10,6	—	4,0 : 17,7	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	17 : 9,6	—	3,0 : 18,0	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	8 : 17,2	—	11,0 : 16,0	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	0 : 18,1	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	1 : 17,8	—	—	—	—	—	—	—
Bemerkungen.	Am 15.3. starker Schneefall.	Am 5. 5. kalt und Schneefall, den 6. 5. Sonne, warm.	Tags vorher Regen.			Abends starkes Gewitter.	Um 6h am Regen.	Am 17 8. starker Regen, am 18. 8. kühles Wetter mit Regen.		Regenschauer mit Hagel, kühles Wetter.	Am 21.8. starker Wind.	
Nummer der Messung.	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

des Wassers auf Meter schon ganz bedeutende sind und mehrere Grade umfassen.

Das Thermometer wurde stets mindestens 3 Minuten der Wärmewirkung ausgesetzt. Durch Versuche hatte der Verfasser festgestellt, daß nach dieser Zeitdauer auch bei großen Temperaturunterschieden eine Änderung des Thermometerstandes nicht mehr wahrzunehmen ist.

Digitized by Google

Leider konnten die Beobachtungen im Würmsee nicht mit einem einzigen Instrument durchgeführt werden. Das zuerst benutzte Thermometer ist infolge Reißens der Lotleine verloren gegangen. Beide Instrumente sind aber vom Verfasser geprüft und wesentliche Fehler nicht bemerkt worden.

Tiefentemperaturen I.

1894													
Datum	24./8.	25./8.	27./8.			28./8.		29./8.		31./8.	26./9.	9./10.
Stunde	6—7 pm	8—10 am	6—8 am	12—2 pm	6—8 pm	6—8 am	12—2 pm	6—8 am	12—2 pm	6—8 am	9—11 am	9—11 am
Wetter												
Bew.	5	1	1	1	5	2	1	2	9	Nebel	8	9
Wind	0	2	2	2	4	0	0	2	4	2	2	2
Tiefe m												
0,0	18,90	18,20	20,00	21,90	20,10	19,50	21,40	20,60	20,80	19,40	15,10	12,90
2,5	17,90	18,00	18,20	18,70	19,70	19,40	19,60	20,70	20,90	19,40	15,10	12,90
5,0	16,90	16,90	17,20	17,30	18,20	19,00	17,00	19,15	17,20	19,50	15,00	12,90
7,5	16,60	16,60	16,80	16,85	17,10	17,30	16,60	17,25	16,80	17,10	15,00	12,90
10,0	15,70	16,30	16,25	15,90	16,45	16,70	16,20	16,50	16,20	16,20	14,80	12,80
12,5	12,00	15,25	14,70	11,40	14,20	11,90	10,90	12,45	11,60	13,80	14,10	12,70
15,0	8,40	9,60	9,40	9,40	9,50	8,15	9,40	8,60	9,35	9,30	10,60	11,70
17,5	7,30	7,45	7,40	8,20	7,30	7,00	8,20	6,80	8,10	7,40	8,40	8,00
20,0	6,80	6,70	6,80	7,50	6,80	6,30	7,60	6,00	7,70	6,35	7,20	6,80
25,0	5,35	5,70	5,75	6,00	5,75	5,40	6,60	5,20	5,90	5,20	5,80	5,70
30,0	5,05	5,00	5,00	5,30	5,05	4,90	5,80	4,90	5,15	4,80	5,20	5,00
40,0	4,50	4,45	4,50	4,65	4,40	4,40	4,60	4,45	4,30	4,30	4,60	4,50
50,0	4,30	4,25	4,25	4,40	4,20	4,15	4,20	4,25	—	4,25	4,30	4,20
60,0	—	—	—	—	—	4,05	—	—	—	—	4,20	4,10
70,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,00
80,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ergänzungsmessungen.	m 15 : 8,4 — —	m 13 : 13,2 12,5:14,5 12,5:14,2 0 : 18,2	m 1 : 20,0 2 : 18,9 1,5 : 19,6 —	m 12,5 : 12,2 12,5 : 11,7 1,5 : 20,3 0 : 22,0	m 17,5 : 7,3 — — —	m 15 : 8,3 6 : 18,5 — —	m 5 : 17,0 20 : 7,6 0 : 23,5 1,5 : 20,0	— — — —	m 4 : 20,2 5 : 17,7 — —	m 6 : 19,4 7 : 17,2 13 : 11,2 —	m 69 : 4,15 14 : 12,0 16 : 9,6 —	m 92 : 4,1 — — —
Bemerkungen.	Tagsüber warm.	Sehr warm.	Am 26.8. windstill u. sehr heiss.	Mittags sehr warm.	Nachmittags starker Wind.			Am 28.8. abends starker Wind u. Gewitter.		Am 30.8. Wind u. kühl.	Tags vorher Regen.	Nachts vorher Regen.
Nummer der Messung.	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26

Die Thermometer hatten beide nur eine Einteilung nach ganzen Graden. Alle Zehntel sind also durch Schätzung gefunden. Die Schätzung ist aber durchaus zuverlässig; man bekommt bald durch das fortgesetzte Beobachten eine große Sicherheit. Der Verfasser zieht solche Thermometer mit Skaleneinteilung nach ganzen Graden sogar denen mit feinerer Einteilung vor, weil die Teilstriche klarer zu übersehen sind. Irrtümer bei der Ablesung sind zwar nicht ausgeschlossen, aber wohl kaum vorhanden, da der Verfasser zur eigenen Kontrolle stets zweimal die Temperatur abzulesen pflegte.

Digitized by Google

Daß die Tiefseethermometer von Negretti und Zambra außerordentlich zuverlässig arbeiten, davon hat sich der Verfasser mehrmals durch Wiederholung der Messungen überzeugt. Es ergaben wiederholte Messungen an derselben Stelle genau die gleichen Werte. Wenn sich Änderungen der Temperatur zeigten, so sind diese auch

Tiefentemperaturen II.

1895

Datum	1./6.	2./6.	4./6.	5./6.	6./6.	11./6.	12./6.	13./8.	20./8.	21./8.	31./8.	8./9.
Stunde		11—12 am	9—10 am	7—9 am	7—9 am	7—9 am	8—9 am	8—10 am	7—9 am	7—8 am	9—11 am	7—9 am
Wetter												
Bew.	3	10	1	6	9—5	10	10	2	3	0	1	0
Wind	2	2	0—4	2—0	0	4	4—6	2	0	0	0	2
Tiefe m												
0,0	16,60	14,6	16,9	16,70	17,00	16,80	16,70	18,9	18,60	18,90	20,00	21,80
2,5	14,10	13,5	14,7	15,40	16,40	14,80	—	18,3	18,00	—	19,80	21,80
5,0	12,00	12,0	12,0	14,70	14,60	13,00	16,80	18,3	17,80	18,10	19,60	20,40
7,5	9,40	9,8	10,5	10,60	12,00	10,15	—	17,3	17,60	17,50	17,80	18,90
10,0	7,70	8,5	9,0	9,70	8,70	8,00	8,90	13,7	14,00	17,00	16,20	16,00
12,5	7,30	7,6	7,9	9,30	8,10	7,50	—	10,0	10,05	10,90	10,60	11,10
15,0	6,90	7,5	6,9	7,60	6,30	7,10	6,80	7,9	8,00	8,80	7,90	8,15
17,5	6,60	7,2	6,3	6,50	6,15	6,60	—	6,6	7,00	—	6,60	7,30
20,0	6,30	—	6,2	5,60	5,60	5,90	6,10	6,4	6,40	6,60	6,10	6,60
25,0	4,80	—	5,3	5,10	5,40	5,40	—	5,9	5,70	—	5,70	5,70
30,0	4,30	—	4,9	4,70	5,10	5,00	5,05	5,3	5,10	5,15	5,10	5,15
40,0	4,20	—	—	4,25	4,40	4,80	—	4,7	4,50	—	4,50	4,50
50,0	4,05	—	—	4,10	4,10	4,05	4,15	4,3	4,20	—	4,25	4,25
60,0	4,00	—	—	4,00	4,00	4,00	—	4,1	4,10	—	4,05	4,05
70,0	—	—	—	3,95	—	—	3,95	—	—	—	—	—
80,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,00
90,0	—	—	—	—	—	—	3,90	—	—	—	—	—
Ergänzungsmessungen.	m 75: 3,95 1:15,80 2:15,10 3:14,00 4:12,80 — — — —	m 1:14,15 2:14,00 3:13,10 4:12,50 — — — — —	m 75:3,9 — — — — — — — —	m 76: 3,90 1:16,50 2:16,40 3:15,30 4:15,25 6:13,10 7:10,80 — —	m 0:16,70 1:16,75 2:16,70 3:16,25 4:15,60 6:14,00 7:13,40 8:11,05 0:17,40	m 0,0:17,4 1,0:17,5 2,0:17,4 3,0:17,0 2,5:17,5 5,0:14,3 7,5:11,4 — —	m 110:3,85 — — — — — — — —	m 74: 4,0 11:12,6 9:14,6 8:16,6 — — — — —	m 74,6:4,05 — — — — — — — —	m 9:16,8 10:15,5 — — — — — — —	m 76: 4,00 6:19,25 7:18,80 11:12,10 — — — — —	m 11:14,0 4:21,3 6:19,6 — — — — — —
Bemerkungen.	Die Tage vorher warm.	Nachts vorher starker Regen.	Tags vorher Gewitter.	Tags vorher Gewitter und Wind.		Die Ergänzungsmessungen sind näher bei Ambach ausgeführt.	Messstelle zwischen Garatshausen und Ammerland.	Tags vorher starker Regen, warm.	Nach dem 13. 8. Regen u. Kälte, dann warm, nur nachts kalt.		Vom 26. ab schönes warmes Wetter.	Die Tage vorher trocken und heiss.
Nummer der Messung.	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38

wirklich vorhanden, entweder infolge von Strömungen oder infolge der Verlagerung des Bootes, von dem aus die Messungen ausgeführt wurden; denn dieses bleibt auch verankert keineswegs an der gleichen Stelle liegen. Die Vermutung, daß solche thermischen Störungen durch das Instrument selbst hervorgebracht würden, da dieses ja bei

Digitized by Google

dem Herablassen und Aufziehen eine größere Wassermenge mit sich fortreißt und dadurch verschieden warme Schichten mischt, findet in den thatsächlichen Beobachtungsergebnissen keine Bestätigung. Diese müßten doch im Bereiche größerer vertikaler Temperaturänderungen stets bei wiederholten Beobachtungen an der nämlichen Stelle Ab-

Tiefentemperaturen II.

	1895			1896						1897		1900
Datum	16./9.	6./10.	8./10.	10./6.	20./6.	3./8.	5./9.	9./9.	10./9.	21./8.	18./9.	24./7.
Stunde	9—11 am	7—8 am	7—9 am	9—12 am	9—11 am	11—12 am	9—10 am	10—12 am	9—10 am	10—12 am	10—12 am	3—4 am
Wetter												
Bew.	8	8	4	2	5	5	3	6	3—5	6	5	5
Wind	2	4	2	0	2	0	2—6	0	0	0	0	2
Tiefe m												
0,0	18,0	15,20	14,80	14,90	19,10	19,9	15,7	16,9	17,0	20,1	14,9	23,9
2,5	18,0	—	14,90	14,20	17,50	18,7	15,2	16,3	—	19,5	—	22,2
5,0	18,0	15,25	14,90	13,10	15,20	17,8	14,9	16,0	16,1	19,3	14,7	20,0
7,5	18,0	—	14,90	10,30	12,00	14,9	14,8	15,9	—	17,7	—	16,1
10,0	16,8	14,50	14,80	6,10	9,70	11,8	13,7	15,5	15,3	14,5	14,5	13,2
12,5	11,6	—	14,60	6,00	8,00	11,0	12,3	12,0	11,9	10,0	14,5	10,1
15,0	7,9	9,00	11,70	5,60	7,10	8,0	9,5	9,5	8,7	8,6	10,0	8,4
17,5	6,9	—	9,50	5,40	6,50	6,4	8,0	8,0	–	7,9	8,0	7,2
20,0	6,4	7,00	7,10	5,20	5,90	5,9	—	7,0	6,5	7,0	7,1	7,0
25,0	5,7	—	5,90	4,80	5,20	5,4	—	5,6	—	6,7	—	6,0
30,0	5,1	5,20	5,20	4,60	4,90	5,0	—	5,0	4,9	6,2	6,0	5,6
40,0	4,6	—	4,60	4,40	4,50	4,6	—	4,5	—	5,5	5,6	5,3
50,0	4,3	—	4,25	4,20	4,40	4,4	—	4,3	—	5,3	5,2	4,9
60,0	4,1	—	4,10	4,10	4,15	4,2	—	4,2	—	—	5,0	—
70,0	—	—	4,05	4,05	—	—	—	4,2	—	5,0	—	—
80,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,7	—
90,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ergänzungsmessungen.	m 71:4,05 8:17,9 9:17,0							m 75:4,1 — —			m 100:4,5 116:4,4 —	m 75:4,3 100:4,3 114:4,2
Bemerkungen.	Seit dem 9. regnerisches u. kaltes Wetter.	Das Wetter seit Wochen warm, erst vom 3. an windig u. regnerisch.	Tags vorher Wind.		Tags vorher warm.	Tage vorher Regen.		Tags vorher warm, Regen.				
Nummer der Messung.	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	51

weichungen gezeigt haben, was keineswegs der Fall ist. Es ist ja auch fast ausgeschlossen, daß eine zweite Beobachtung genau in derselben Wassersäule — außer vom Eise aus — vor sich geht. Um aber jeden derartigen Einfluß von vornherein auszuschließen, hat der Verfasser fast bei allen thermischen Lotungen die Beobachtungen von oben nach unten durchgeführt, sodaß das Instrument stets in eine neue Wasserschicht kam, die auch vor der Wiederholung der

Digitized by Google

Messung nicht bewegt worden sein konnte, da das Instrument ja eben nur hineinreichte.

Die thermischen Lotungen wurden fast sämtlich mit einem Lotapparat ausgeführt, dessen Tiefenangaben noch eine kleine Korrektur erforderten. Von dieser Korrektur ist abgesehen worden, einmal um nicht statt der bequemen ganzen Tiefenzahlen ungleichmäßige Werte setzen zu müssen, ferner weil der Betrag der Korrektur ein sehr geringer ist, der erst in Tiefen von etwa 50 m, wo die Temperaturänderungen nur noch klein sind, einen Meter erreicht, und endlich weil der Fehler in gleichem Grade sämtlichen Messungen anhaftet, sodaß sie unter sich vollkommen gleichwertig sind.

Beobachtet wurde im allgemeinen immer in den gleichen Tiefenabständen, die in den oberen Wasserschichten aus naheliegenden Gründen kleiner angenommen wurden als in den unteren. Die Abstände waren in m folgende: 0—2.$_5$—5—7.$_5$—10—12.$_5$—15—17.$_5$—20—25—30—40—50—60 u. s. w. Wo es notwendig schien, wurden nach Beendigung der Messungen zwischen diesen Abständen noch Ergänzungsbeobachtungen gemacht, durch die namentlich in dem Falle, wo große Temperaturänderungen sich zeigten, genauer die Stelle der rascheren Wärmeabnahme ermittelt werden sollten. Gewöhnlich erstrecken sich die Beobachtungen bis zum Grunde; wenn es sich aber nur darum handelte, die Änderungen der Temperaturverteilung festzustellen, wurden sie nur bis zu der Tiefe durchgeführt, in welcher nahezu eine konstante Temperatur herrschte oder die Temperatur des Dichtemaximums des Wassers erreicht war.

Die Ergebnisse der Messungen sind in den beigefügten Tabellen zusammengestellt. Sie entstammen den Jahren 1893, 94, 95, 96, 97, 99 und 1900 und erstrecken sich über die Zeit von März bis Oktober. Ergänzt wurden sie durch eine weitere Beobachtung am 9. Januar 1901, die wir hier als Nr. 52 anfügen:

Tiefe	0,0	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0	25,0	30,0	40,0	50,0	75,0	107,0
Temperatur	4,8	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,7	4,7	4,7	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8

Diese Messung wurde bei heiterem Himmel und leichtem Winde von der Stärke 2 ausgeführt. Die Lufttemperatur betrug am Morgen etwa — 10 °; sie war an den Tagen zuvor noch niedriger gewesen.

Da die vertikale Verteilung der Temperatur aus den Zahlenreihen nicht immer sofort zu erkennen ist, wurde diese auch noch zur besseren Anschaulichkeit graphisch dargestellt. Dazu wurden aber nicht unmittelbar die Zahlenwerte verwendet, die die Messungen in den vorgeschriebenen Abständen ergaben, sondern es wurden durch geometrische Interpolation die Tiefenpunkte ermittelt, an denen

Digitized by Google

sich die Temperatur um einen Grad geändert hat. Wir haben also in den graphischen Darstellungen gewissermaßen thermische Profile vor uns, an denen wir die Tiefenlage jeder Temperatur sofort bestimmen können, und die uns außerdem klar die größere oder geringere vertikale Temperaturänderung veranschaulichen. (Tafel VII.)

Um einen sofortigen Vergleich der thermischen Zustände im Wasser mit der Witterung zu ermöglichen, sind in die Tabellen entsprechende Vermerke eingetragen worden. Sie beziehen sich aber nur auf Bewölkung, Wind und allgemeinen Witterungscharakter am Tage der Messungen oder am Tage zuvor. Vorwiegend wurden die Beobachtungen bei ruhigem Wetter ausgeführt, weil nur dann die Bedingungen für eine genaue Messung gegeben sind. Beobachtungen über die gleichzeitige Lufttemperatur sind mit Absicht unterlassen worden. Die Verhältnisse auf dem Wasser gestatten oft kaum eine zuverlässige Bestimmung der Lufttemperatur. Außerdem ist diese im Laufe eines Tages viel zu großen Schwankungen ausgesetzt. Solche vereinzelte Beobachtungen haben, wenn man die jeweilige Tagesschwankung nicht kennt, gar keinen Wert. Von Bedeutung ist dagegen, wie wir sehen werden, eine gewisse Kenntnis des allgemeinen Witterungszustandes; diesen kann man aber besser aus den Beobachtungen an festen Stationen ermitteln. Leider ist am Würmsee eine solche nicht vorhanden; wir müssen daher die Beobachtungen entfernterer Stationen zu Hilfe nehmen. Da es sich nur um einen allgemeinen Überblick über die Witterung handelt, ist eine solche Aushilfe sowohl zulässig wie auch ausreichend.

Jährlicher Gang der vertikalen Temperaturverteilung.

Betrachten wir das gesammelte Beobachtungsmaterial, so vermögen wir zunächst aus ihm, obwohl es sich nur auf die Zeit von Januar bis Oktober erstreckt, doch den jährlichen Wärmegang in den einzelnen Schichten des Wassers herauszulesen.

Aus der Januarbeobachtung 1901 geht zunächst hervor, daß um diese Jahreszeit die sommerliche Erwärmung noch bis zum Grunde erhalten ist. Es zeigt sich in der ganzen Wassermasse eine nahezu konstante Temperatur, die vermutlich eine Folge der von oben immer tiefer eindringenden Abkühlung und der dadurch bewirkten Ausgleichsströmungen ist. Dieser Vorgang wird noch deutlicher durch die Messung im März veranschaulicht.

Im März finden wir bis zu großer Tiefe eine Temperatur von weniger als 4°, die Temperatur des Dichtemaximums des Wassers. Es mag das etwa der thermische Zustand am Ausgange des

Digitized by Google

Winters sein. Die betreffende Beobachtung fällt auf den 16. März 1894. Der voraufgegangene Januar und Februar war vielfach kalt und unter der Wirkung dieser Kälte war eine Abkühlung des Wassers bis auf große Tiefe eingetreten, vermutlich bis zum Grunde. Wie die Abkühlung vor sich geht, ist nicht ohne weiteres verständlich, da bei einem Sinken der Temperatur unter 4° doch die den Wärmezustand am meisten beeinflussenden vertikalen Strömungen im allgemeinen aufhören müßten. Vermutlich bleiben sie aber doch bestehen und zwar infolge der zeitlichen Verschiedenheit der Abkühlung in den einzelnen Schichten des Wassers. Im Herbst nimmt die Temperatur, wie das an anderen Seen beobachtet ist, an der Oberfläche rasch ab, während in größerer Tiefe noch relativ hohe Temperatur herrscht, wodurch die Ausgleichsströmungen um so lebhafter werden. Sie erstrecken sich schließlich bis zu der Tiefe, in der wir die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums treffen; d. i. etwa bei 80—100 m. Die ganze Wassermasse bis zu dieser Tiefe ist dann in auf- und absteigender Bewegung. Kühlt sich nun die Oberfläche unter 4° ab, so wird nicht sofort ein Stillstand eintreten, sondern die einmal vorhandene Bewegung wird sich fortsetzen und es werden kältere Wasserteilchen in die Tiefe mit fortgerissen werden; dadurch entstehen neue Gleichgewichtsstörungen, die wieder Bewegung hervorrufen und neue Schichten in den Bereich der Abkühlung hineinziehen. Auf diese Weise setzt sich die Abkühlung bis in die größeren Tiefen fort, sie erreicht erst ihr Ende, wo jede jahreszeitliche thermische Änderung aufhört.

Dadurch würde sich vielleicht auch jene merkwürdige, von Richter genauer festgestellte Erscheinung erklären, daß wir fast niemals, selbst zur Zeit der Eisbildung nicht, eine Temperatur von 0° oder nahe bei 0° im Wasser beobachten.[2] Unsere Theorie würde vielleicht auch auf die Art des Gefrierens großer Seen einiges Licht werfen. Diese kann danach erst erfolgen, wenn durch andauernden Frost eine größere Schicht des Wassers stark abgekühlt ist und das Wasser dadurch relativ mehr zur Ruhe gekommen ist. Die Beobachtung vom Januar 1901 giebt eine Bestätigung dafür.

Gefördert wird die winterliche Wärmeabnahme sicher auch durch die Wärmeausstrahlung. Bei der großen Diathermansie des Wassers erstreckt sich diese vermutlich bis in große Tiefe.

Im Winter haben wir im Würmsee zweifellos oft die sogenannte verkehrte Wärmeschichtung, bei der die kälteren Wasser oben liegen. Diese verkehrte Schichtung geht dann im Frühjahr in die rechte Schichtung mit dem wärmeren Wasser oben über; doch ohne jemals den Zustand völlig gleicher Wärmeverteilung zu passieren. Dieser

Digitized by Google

kann bei der Unbeständigkeit der Wärmezufuhr und dem steten Vorhandensein von Konvektionsströmungen wohl nie eintreten.

Die nächste Beobachtung fällt auf den Mai. In den oberen Schichten bemerken wir schon eine beträchtliche Erwärmung. Eine Wärmezunahme ist jedoch auch bei 50 m vorhanden. Infolge Mangels an Zeit konnte die Messung leider nicht auf tiefere Schichten ausgedehnt werden. Wir können aber wohl annehmen, daß auch bis in größere Tiefen bereits eine Erhöhung der Temperatur eingetreten ist. Diese ist in erster Linie auf die Wirkung der in das Wasser eindringenden Wärmestrahlen zurückzuführen. Denn das Wasser ist nicht völlig diatherman; es absorbiert vielmehr einen Teil der Sonnenstrahlen. Diese dringen offenbar bis zu großer Tiefe ein, vermutlich ebensoweit wie das Licht.

Die rechte Wärmeschichtung hält naturgemäß den ganzen Sommer über an; sie bleibt vermutlich auch noch bis weit in den Winter hinein bestehen. Danach gehört der Würmsee zu dem Typus der gemäßigten warmen Seen, bei denen nach Forel die rechte Schichtung die verkehrte erheblich an Dauer übertrifft.[3]

Die weitere Erwärmung des Wassers im Sommer veranschaulichen uns die Beobachtungen aus dem Juni, Juli, August, September und Oktober. Da diese aus verschiedenen Jahrgängen stammen, so haben wir, um sie von allen zufälligen Einwirkungen frei zu machen, aus ihnen umstehende Mittelwerte berechnet. Die Temperatur des Wassers ist ja im allgemeinen keinen großen Schwankungen ausgesetzt; deshalb dürften die aus nur vereinzelten Messungen gewonnenen Mittelwerte doch annähernd richtig die thermischen Zustände wiedergeben. In dem Jahre 1894 sind die Beobachtungen auf den ganzen Sommer verteilt. Sie geben uns also neben jenen Mittelwerten noch im besonderen ein Bild von dem Verlauf der Temperaturverteilung innerhalb eines Jahres. Wir haben davon eine graphische Darstellung dem Atlas beigefügt. (Tafel VII.)

Wir sehen aus beiden Reihen, daß die Wärme in den oberen Schichten schon im Juni erheblich zugenommen hat. Nahe der Oberfläche tritt bis zum August nur noch eine geringe Erhöhung der Temperatur ein. Aber schon in 2,5 m Tiefe vermindert sich die Wärmezunahme. Während an der Oberfläche die Wärme von Mai bis Juni fast um 8° gestiegen ist, beträgt der Unterschied in 2,5 m Tiefe nur noch 6°; in 10 m Tiefe sinkt er sogar auf 1,5°. Von 30 m an ist kaum noch eine Wärmesteigerung bemerkbar.

In der folgenden Zeit tritt aber eine ziemlich beträchtliche Erwärmung in den höheren Schichten ein. Schon bis zum Juli ist, wie die Lotung 51 lehrt, eine starke Erwärmung bis zu großer Tiefe

Digitized by Google

bemerkbar. Noch stärker zeigt sich diese bis zum August. In 5 m Tiefe hat sich das Wasser von 13,5 auf 17,8°, in der Tiefe von 10 m sogar von 8,4 auf 15,8° erwärmt. Von 10 m an vermindert sich dann wieder die Wärmezunahme, die bei 30 m auf 0,3° herabsinkt. Eine Zunahme ist noch bis 60 m wahrnehmbar. In den tieferen Schichten scheinen noch winterliche Temperaturen zu bestehen. Dort sind 3,9 und bei 110 m sogar 3,85° gemessen worden.

Vom August bis September vermindert sich die Temperatur in den oberen Schichten wieder ein wenig. Von 10 m an ist sie nahezu gleich geblieben, doch in größeren Tiefen hat sie sich noch um Zehntel erhöht und zwar bis zur Tiefe von 70 m.

Mittlere Tiefentemperaturen.

Monat	Juni	Aug.	Sept.	Okt.
Zahl der Beobachtungen .	7	24	6	2
Tiefe m 0,0	16,9	19,0	17,6	13,9
2,5	15,3	18,5	17,4	13,9
5,0	13,5	17,8	17,1	13,9
7,5	10,7	17,0	16,8	13,9
10,0	8,4	15,8	16,0	13,8
12,5	7,7	12,4	12,1	13,7
15,0	6,8	9,3	8,9	11,7
17,5	6,4	7,5	7,6	8,8
20,0	5,8	6,7	6,7	7,0
25,0	5,2	5,6	5,7	5,8
30,0	4,8	5,1	5,2	5,1
40,0	4,4	4,5	4,6	4,6
50,0	4,2	4,3	4,3	4,2
60,0	4,0	4,1	4,1	4,1
70,0	4,0	4,0	4,1	4,0
80,0	3,9	4,0	4,0	

Die Beobachtungen im Oktober zeigen eine weitere Abnahme in den oberen Schichten. Von 12,5 m an nehmen wir aber eine Temperatursteigerung wahr, die bis 25 m sich verfolgen läßt. Unterhalb 30 m ist eine kleine Temperaturverminderung eingetreten.

Die Betrachtung lehrt uns also, daß im Sommer bis zum Herbst in den tieferen Schichten eine stetige Wärmezunahme besteht. Diese ist allerdings sehr gering. Da sie auf die Wirkung der direkten Sonnenstrahlen zurückgeführt werden muß, so sollte man eine größere Wärmesteigerung erwarten. Im Vergleich zu der Erwärmung im Frühjahre tritt aber eher eine Verminderung der Wärmezunahme ein. Daraus müssen wir den Schluß ziehen, daß die Wärmedurchlässigkeit im Laufe des Sommers geschwächt wird. Im Frühjahre dringen die Sonnenstrahlen am tiefsten und häufigsten in die Tiefe ein, im Sommer erreichen sie nur geschwächt größere

Digitized by Google

Tiefen. Es würde danach mit der sommerlichen Trübung des Wassers für das Licht gleichzeitig auch eine thermische Trübung sich einstellen, was theoretisch sehr wahrscheinlich ist.

Weiter zeigt uns der jährliche Wärmegang in den oberen Schichten eine ziemlich starke, nach der Oberfläche an Intensität zunehmende Wärmesteigerung. Diese müssen wir ebenfalls auf die direkte Wirkung der Sonnenstrahlen zurückführen, die an Stärke zweifellos oben am größten ist.

Auf Grund dessen sollten wir im Laufe des Sommers eine konstante und gleichmäßige Erwärmung der oberen Schichten des Wassers erwarten. Eine solche ist jedoch nicht vorhanden. Schon im August bemerken wir in den obersten Schichten nur eine geringe Wärmesteigerung, im September und Oktober sogar eine beträchtliche Abnahme, während in den tieferen Schichten noch eine Zunahme der Temperatur sich zeigt.

Diese Erscheinung findet ihre Erklärung in der täglichen Änderung der Wärmestrahlung. An die Stelle der Zustrahlung der Wärme am Tage tritt in der Nacht die Ausstrahlung. Dadurch wird die Temperatur zunächst an der Oberfläche vermindert. Geht die Temperatur unter diejenige der tieferen Schichten, so sinkt das kühlere und darum schwerere Wasserteilchen unter, während wärmeres Wasser aufsteigt; es entstehen sogenannte Ausgleichs- oder Konvektionsströmungen. Diese verhindern im Laufe des Sommers eine stärkere Erwärmung der oberen Schichten; denn sie bewirken, daß die nächtliche Abkühlung nicht blos auf das oberflächliche Wasser beschränkt bleibt, sondern eine ganze Wasserschicht umfaßt, nämlich die Wasserschicht, innerhalb welcher eine Temperatur herrscht, die höher ist als die durch die Abkühlung an der Oberfläche hervorgerufene.

Der Ausgleich der Wärme ist am Morgen des folgenden Tages noch nicht beendet. Denn wir finden dann nicht selten in der Tiefe höhere Temperaturen als an der Oberfläche. Es ist das z. B. am 19., 29. und 31. August 1894 (Nr. 11, 22 und 24) der Fall.

Die Ursachen der vertikalen Temperaturverteilung.

Der jährliche Wärmegang im Wasser eines Binnensees erscheint uns hiernach als eine unmittelbare Wirkung der Sonnenstrahlung, die nur in den oberen Schichten durch die Wärmeausstrahlung des Wassers selbst abgeändert wird. Aber auch der Erfolg dieser Wärmeausstrahlung lehrt eine enge Beziehung zur Sonnenstrahlung, sie kommt erst zur Geltung, wenn die letztere sich erhehlich vermindert hat.

Digitized by Google

Ein solcher Zusammenhang zwischen der vertikalen Temperaturverteilung und der Sonnenstrahlung kann sich jedoch nur in den Seen zeigen, die eine genügende Tiefe besitzen. Wo die Sonnenstrahlen noch in größerer Intensität den Grund des Sees erreichen, wird das Bild der Wärmeverteilung ein wesentlich anderes sein, da dann der bestrahlte Boden des Sees eine neue Wärmequelle wird. An der Erwärmung des Würmsees mit einer mittleren Tiefe von 54 m hat natürlich der Boden keinen Anteil. In den größeren Tiefen herrscht darum auch annähernd eine konstante Temperatur von 4°. Unsere Beobachtungen im September 1897, im Juli 1900 und im Januar 1901 lehren indes, daß noch in Tiefen von über 100 m eine geringe Erwärmung stattfindet, die wohl ebenfalls auf die Wirkung der Sonnenstrahlen zurückzuführen ist.

Die von Richter in mehreren Seen der Ostalpen beobachtete Zunahme der Wärme unmittelbar am Grunde konnte der Verfasser nur vereinzelt wahrnehmen.[4] Die Wärmezunahme betrug dann nur $^1/_{10}°$; war also verschwindend klein. Eine Erwärmung vom Grunde des Sees scheint demnach überhaupt nicht vorhanden zu sein. Sie ist auch theoretisch sehr unwahrscheinlich. Denn nach den geologischen Befunden ist der See in die wasserundurchlässigen Flinzschichten eingebettet. Er bekommt somit vermutlich keine Zufuhr durch Quellen aus tieferen Gesteinsschichten, die ihm warmes Wasser liefern. Daß aber die Erdwärme selbst eine Erhöhung der Wasserwärme hervorrufen soll, wie es Richter annehmen möchte, scheint uns unvereinbar mit der Beweglichkeit des Wassers, in dem durch Strömungen bei solchen konstanten Wärmequellen sofort ein Ausgleich herbeigeführt würde. Es müßte dann eine der Erdwärme entsprechende höhere Temperatur sich gleichmäßig durch die unteren Wassermassen verbreiten. Das ist im Würmsee nicht der Fall. Dort kann somit auch dieser Faktor, die Erdwärme, unberücksichtigt bleiben. Wir werden später auf diesen Gegenstand noch einmal zurückkommen.

Neben der Sonnenstrahlung dürfte aber im Würmsee doch noch ein Faktor an der vertikalen Wärmeverteilung nicht unwesentlich beteiligt sein. Das ist das zufließende Wasser. Der See empfängt zunächst bei jedem starken Regen direkt eine ganz erhebliche Wassermasse, deren Temperatur oft nicht wenig geringer ist als die des Seewassers nahe der Oberfläche. Das kühlere Regenwasser muß in dieses einsinken, dadurch Konvektionsströme hervorrufen, als deren Wirkung wir dann eine Abkühlung der oberen Wassermassen beobachten würden. Thatsächlich konnte eine solche Wahrnehmung mehrmals gemacht werden. Als Beispiel führen wir die Beobachtungen am 16.—19. August 1894 (Nr. 9, 10, 11) an, wo viel Regen

Digitized by Google

gefallen ist und offenbar dadurch eine Erniedrigung der Wassertemperatur in den oberen Schichten erfolgte. Namentlich aber zeigte sich an den betreffenden Tagen in diesen eine auffallende Gleichmäßigkeit der Temperatur. Weitere Beispiele liefern die thermischen Lotungen am 1. und 2. Juni 1895 (Nr. 27 und 28), wo zweifellos die starke Temperaturerniedrigung auf die Wirkung des heftigen Regens in der Nacht vom 1. zum 2. zurückzuführen ist.

Daß auch durch die in den Bächen zufließenden Wassermassen der Wärmezustand im Wasser beeinflußt wird, ist nicht unwahrscheinlich. Die Bäche führen dem See konstant kühles Quellwasser zu. Durch Trübung dieses Wassers an der Mündung kann man beobachten, wie es bei dem Eintritt in den See als schwerer untersinkt und am Boden zur Tiefe fließt. Wenn auch die täglich zugeführte Wassermasse im Vergleiche zu der des Sees gering ist, so dürfte doch die niedrige Temperatur der Bäche auf die thermischen Verhältnisse immerhin einen Einfluß ausüben.

Am 21., 22. und 23. September 1893 wurde darum bei einer Wanderung um den See in allen Bächen die Temperatur bestimmt. Das Ergebnis war folgendes:

		Grad
Am 21. Sept.	Bach nördl. Tutzing	12,9
	„ bei Garatshausen	10,2
	„ südl. Feldafing	13,7
	„ „ „	11,7
Am 22. Sept.	„ nördl. Zeismering	12,0
	„ „ „	12,2
	„ „ „ , Hirtbach	12,2
	„ südl. Zeismering, Karrach	13,6
	„ nördl. Seeseiten	11,5
	„ bei „	12,0
	„ südl. „	12,7
	Zufluß bei der Mühle von Seeshaupt	16,0
	Singerbach	12,7
	Zufluß am Südende des Sees	12,5
	Bach nördl. St. Heinrich	11,7
	„ südl. Ambach	10,7
	„ „ „	12,0
	„ nördl. „	12,2
Am 23. Sept.	Abfluß bei Starnberg	16,0
	Bach bei Percha	12,8.

Sehen wir in dieser Reihe von dem Hauptzuflusse bei Seeshaupt und dem überhaupt nicht in Betracht kommenden Abfluß bei

Digitized by Google

Starnberg ab, so liegt die Temperatur der Zuflüsse zwischen 10,2 und 13,7°. Im Mittel bekommen wir rund 12°. Daß eine konstante Zufuhr so kalten Wassers auf die Wärmeverhältnisse im See schließlich doch einwirken muß, erscheint wohl denkbar. Die Sprungschicht war an jenen Tagen, wie die thermischen Lotungen Nr. 1 und 2 (Tabelle IVa S. 142) zeigen, sehr scharf ausgeprägt und lag etwa zwischen 10 und 16°. Die rasche Temperaturabnahme gerade im Bereiche der Wärme des Wassers der Zuflüsse berechtigt wenigstens zu der Vermutung, daß hier ein Zusammenhang besteht.

Der Einfluß der Zuflüsse müsste sich natürlich je nach ihrer Wasserwärme ändern. Am 5. Juni 1895 fanden sich in einigen Bächen zwischen Bernried und Tutzing z. B. ziemlich hohe Temperaturen; sie lagen zwischen 15,7 und 19,8°, während gleichzeitig im See (Nr. 30) nur 16,7° an der Oberfläche beobachtet wurden. Damals konnten die Zuflüsse nur zur Erhöhung der Temperatur im See beitragen. In ähnlicher Weise müssen auch warme Regen wirken. So bemerken wir vom 4. zum 5. Juni 1895 bis 5 m eine beträchtliche Temperaturerhöhung im Wasser, obwohl keine starke Besonnung vorhanden war. Es regnete aber viel. An dem 5. Juni befindet sich daher in dem Tagebuche unter den Temperaturzahlen die Bemerkung: „Zunahme der Temperatur wohl infolge starken Zuflusses von warmem Regenwasser". Es war an demselben Tage, wo in den Bächen zwischen Bernried und Tutzing die erwähnten hohen Temperaturen beobachtet wurden.

Außer durch die oberflächlichen Zuflüsse wird der See sicher auch ein wenig durch Grundwasser gespeist. Deshalb wurden auch in diesem einige Temperaturbestimmungen ausgeführt. In dem Dorfe Bernried ergaben die Beobachtungen in 2 Brunnen annähernd die gleichen Werte 10,6 und 11,0°. Da nun im allgemeinen die wärmeren Schichten des Seewassers annähernd mit dieser Temperatur von unten beginnen, so liegt gewiß der Gedanke nahe, daß auch hier ein Zusammenhang besteht, daß wenigstens die Grundwasserspeisung ebenfalls zur Ausbildung beiträgt. Doch fehlen noch sichere Beweise dafür. Jedenfalls dürfte die Wirkung nur sehr gering sein, da die Grundwasserspeisung nicht groß ist.

Die Erwärmung des Wassers ist zweifellos in erster Linie auf eine Wirkung der Sonnenstrahlen zurückzuführen.

Die thermische Sprungschicht.

Durch die allnächtliche sowie durch die zeitweise infolge kalter Witterung bewirkte Abkühlung wird die gleichmäßige Erwärmung

Digitized by Google

des Wassers nach der Oberfläche verhindert. Eine solche findet nur bis zu einer nach der Jahreszeit wechselnden Tiefe statt. Oberhalb derselben bemerken wir noch eine Zunahme, die aber sich über eine größere Schicht gleichmäßig verteilt, relativ sich nach der Oberfläche sogar häufig vermindert. Im Herbst, etwa von September an, beginnt dann unter der Abnahme der Sonnenstrahlung eine dauernde Abkühlung, die wieder die ganze obere Wasserschicht umfaßt, sodaß wir nun von einer bestimmten Tiefe an nach oben gar keine Wärmezunahme mehr finden.

Infolge der durch oberflächliche Abkühlung hervorgerufenen vertikalen Ausgleichsströmungen bekommen wir sonach innerhalb eines Sees eine obere gleichmäßig warme und eine untere von oben nach unten allmählich kältere Wasserschicht. Die Verminderung der Wärme schreitet von oben nach unten immer langsamer fort entsprechend der Abnahme der Strahlung; sie vollzieht sich am schnellsten nach der oberen Grenze, also nahe der unteren Grenze der oberen gleichmäßig warmen Schicht. Hier geht die Temperaturänderung sogar sprungweise vor sich. Richter hat darum auch treffend diese Schicht stärkster Temperaturabnahme als thermische Sprungschicht bezeichnet.[5]

Nach den bisherigen Darstellungen erscheint die Sprungschicht selbst als das Produkt der Ausgleichsströmungen; in Wirklichkeit haben wir innerhalb der Sprungschicht aber die normale Wärmezunahme nach der Oberfläche vor uns, die sich bis zu dieser selbst in gleichem Maße fortsetzen müßte, wenn nicht die nächtliche Abkühlung eine solche stete Wärmezunahme in den obersten Schichten verhinderte.

Die normalen Verhältnisse der sommerlichen Temperaturzunahme haben wir noch im Mai und Juni, vermutlich eben so lange wie die Sonnenstrahlung an Intensität noch zunimmt. Im Juli (Nr. 51) bemerken wir bereits eine breitere oberflächliche Warmwasserschicht, die etwa bis 5 m reicht. Es ist in ihr unter starker Besonnung auch wieder eine erhebliche Erwärmung eingetreten, aber diese ist nur vorübergehend, die wirkliche Sprungschicht beginnt erst bei 5 m. Im August reicht die Wärmestrahlung jedoch am Tage offenbar nicht mehr aus, um die nächtliche Abkühlung wett zu machen, es entsteht in ausgeprägter Form die Sprungschicht, die im September und Oktober unter der zunehmenden oberflächlichen Abkühlung immer tiefer rückt, während unterhalb der Schicht der Konvektionsströme noch eine Erwärmung stattfindet. Im Laufe des Spätherbstes und Frühwinters senkt sich die Schicht gleicher Wärme immer tiefer ein, vermutlich bis zur äußersten Grenze der sommerlichen Wärmezunahme überhaupt.

Digitized by Google

Mehrfache Sprungschichten.

Sobald die Sonnenstrahlung auf längere Zeit unterbrochen wird, hört auch die gleichmäßige Erwärmung des Wassers auf, es beginnt eine Abkühlung der Oberfläche, welche Vertikalströmungen hervorruft und dadurch zum Ausgleiche der Wärme in den oberen Schichten beiträgt; es entsteht die Sprungschicht.

Da eine solche Unterbrechung der Sonnenstrahlung allnächtlich eintritt, so müßte eine kleine Sprungschicht fast an jedem Tage zu beobachten sein. Nach Tagen sehr starker Strahlung ist das auch der Fall. Ein Beispiel liefert die Beobachtung am 27. August 1894 (Nr. 17), wo am Morgen bis 1 m gleichmäßig 20° beobachtet wurden, während bei 2 m nur 18,9, bei 2,5 sogar nur 18,2° sich zeigten. Ähnlich liegen die Verhältnisse am 29. August 1894 6—9^h morgens (Nr. 22) und am 31. August 1895 (Nr. 37).

Auch unter der Wirkung der Sonnenstrahlen selbst entwickelt sich oft ein solcher thermischer Zustand. Vermutlich kühlt sich auch am Tage infolge der Verdunstung das Wasser oberflächlich ab, wodurch ebenfalls Vertikalströmungen entstehen, die uns unter der direkten Sonnenstrahlung eine dünne Schicht nahezu gleichmäßig warmen Wassers an der Oberfläche schaffen, unter der sich unmittelbar die Temperatur stark verändert, z. B. am 15. August 1894 (Nr. 8) abends oder am 27. August 1894 (Nr. 19) abends, wo die Abkühlung durch starken Wind noch gefördert worden ist.

Vielfach erwärmt sich endlich auch das Wasser nur an der Oberfläche sehr stark und es vermindert sich dann schon in der Tiefe von 1—2,5 m die Temperatur so rasch, daß eine Art Sprungschicht vorhanden ist. Wir konnten das feststellen am 27. August 1894 (Nr. 18) mittags, und ebenso am 28. August (Nr. 21) mittags.

Wir haben diese kleine Sprungschicht bereits wiederholt an anderen Seen beobachtet und sie als die tägliche bezeichnet. Aus ihr entwickelt sich im Laufe des Jahres die große jährliche und nach vorübergehenden Witterungsperioden die periodische Sprungschicht, die zuweilen neben der großen auftritt. Diese letztere ist zuerst wohl von Hergesell und Langenbeck im Weißen See im Wasgau beobachtet worden.[6]

Die jährliche Änderung in der Lage der Sprungschicht.

Wie die große jährliche Sprungschicht entsteht, wird durch die thermischen Profile auf der beigefügten Tafel unseres Atlas gut veranschaulicht. (Tafel VII.)

Digitized by Google

Im Mai (Nr. 4), wo das Wasser unter der zunehmenden Besonnung erst oberflächlich sich zu erwärmen beginnt, ist noch kaum etwas von einer Sprungschicht zu bemerken. Sie ist zwischen 4 und 5 m schwach angedeutet.

Viel klarer tritt sie dagegen schon im Juni (Nr. 27—33, 42, 43) hervor. Hier liegt die Zone schneller Wärmeabnahme noch immer sehr nahe der Oberfläche. Sie reicht kaum unter 10 m herab, setzt sich aber oft bis zur Oberfläche fort. Zeitweise ist die Sprungschicht scharf ausgeprägt vorhanden, überlagert von gleichmäßig warmem Wasser. Die obere Grenze finden wir im allgemeinen bei 13—15°, die untere bei 9—11°. Zuweilen ist über einer größeren tiefer gelegenen eine kleinere schwächere Sprungschicht näher der Oberfläche angedeutet. Die ganze Erscheinung hat in diesem Monate noch etwas Unbestimmtes, Unfertiges, sie ist eben noch in der Entwickelung begriffen.

Im Juli (Nr. 51) ist sie nach unserer allerdings ganz vereinzelten Messung deutlich bemerkbar. Sie liegt zwischen 5 und 12,5 m, ist also noch ziemlich ausgedehnt und liegt sehr nahe der Oberfläche; sie umfaßt etwa 6°.

Vollkommen entwickelt erscheint die Sprungschicht dann im August. Hier liegt ihre obere Grenze im allgemeinen zwischen 9 und 10 m, vereinzelt auch erst bei 12,5 m. Die untere Grenze schwankt etwa zwischen 15 und 17,5 m. Innerhalb dieser Wasserschicht sinkt die Wärme von 15—16° auf 8—10° herab; der Sprung erreicht also 5—8°. Die Schnelligkeit der Abnahme ist zuweilen erstaunlich; es liegen Beobachtungen vor, bei denen im Bereiche von 2 m eine Abnahme von 5° festgestellt wurde.

Freilich ist ein genauer Wert hierfür nicht zu gewinnen. Denn die thermischen Lotungen haben ganz zweifellos ergeben, daß die Sprungschicht nur eine sehr geringe Beständigkeit besitzt. Schon die Beobachtungen vom Juni lehren uns das. Hier ist das Unstete aber zum Teile noch in der Unfertigkeit der Erscheinung begründet. Im August tritt uns dagegen die vollkommen ausgebildete Sprungschicht entgegen, aber auch diese verändert sich fortwährend nach Lage und Umfang.

Die Ursache dieser Bewegungen ist nicht schwer zu erkennen. Sie werden hervorgerufen durch die jeweiligen Witterungszustände. Andauernd kühles Wetter mit wenig Sonnenschein, wie es in den Tagen vom 15. bis 22. August 1894 herrschte, bewirkt eine Abkühlung der ganzen Wassermasse (Nr. 7—13). Die Sprungschicht verschiebt sich infolgedessen nach oben, ihre obere Grenze sinkt von 17 auf 16°, die untere steigt von 8 auf 10°.

Digitized by Google

Warme Witterung, wie sie in den folgenden Tagen vom 23. bis zum 27. August auftrat, führt zunächst nur zu einer Erwärmung der obersten Wassermassen. Die tieferen Schichten zeigen noch eine Abkühlung, sodaß die Sprungschicht zunächst noch nach aufwärts steigt und das Wasser oberhalb derselben sich auf 15° erniedrigt.

Jetzt ist aber die Bedingung zur Bildung einer zweiten Sprungschicht gegeben. Denn auf die Periode andauernd warmer Witterung folgt eine starke Abkühlung am Ende des Monates. Sofort bemerken wir auch bereits am 27. August 1894 eine Sprungschicht nahe der Oberfläche. Diese verschwindet jedoch gegen Abend wieder. Sie gehört also zu der Gattung der täglichen Sprungschichten. Auch am 28. morgens (Nr. 20) ist sie nicht vorhanden; aber mittags (Nr. 21) beobachten wir sogar nahe der Oberfläche eine doppelte. Die obere ist wieder die tägliche, die tiefere ist dagegen die von uns als periodische bezeichnete Sprungschicht, sie ist noch eine Nachwirkung der warmen voraufgegangenen Witterung. Wir bemerken sie auch noch am 29. und am 31. August (Nr. 22—24), freilich zuletzt nur noch ganz schwach ausgeprägt.

Solche sekundäre Sprungschichten bilden sich bei Umschlag der Witterung; je nach der Größe des Wettersturzes treten sie mehr oder weniger deutlich auf, zuweilen kaum merklich. Überdies sind sie von geringer Dauer, da sie nahe der Oberfläche schneller von der nächtlichen Abkühlung betroffen werden. Um sie sicher wahrzunehmen, sind womöglich tägliche Messungen erforderlich, ja zuweilen zeigen sie sich auch nur auf wenige Stunden des Tages, sodaß sogar mehrmalige Messungen an ein und demselben Tage zu ihrer Ermittelung notwendig werden.

Eine seltsame Erscheinung bot die Beobachtung vom 3. August 1896 (Nr. 44). Es zeigt sich da wieder eine doppelte Sprungschicht, aber die kleinere liegt tiefer, ungefähr in der Tiefe, in welcher wir im August die Hauptsprungschicht finden, während die größere bereits bei 5 m beginnt und nur bis 10 m reicht. Eine Erklärung dafür ist schwer zu finden. Die Witterung giebt gar keinen Anhalt. Es müßte doch auf eine Reihe warmer Tage, welche die untere Sprungschicht erzeugte, eine große Abkühlung gefolgt sein, welche das ganze obere Wasser abkühlte; dann müßte wieder unter warmem Wetter die obere Sprungschicht entstanden sein. Eine solche Witterung hat aber nicht bestanden. Eine Erklärung liefert vielleicht der starke Regen, der in den voraufgegangenen Tagen gefallen ist. Dadurch erhielt der See vermutlich eine starke Zufuhr kalten Wassers, die die Wassertemperatur herabdrückte, in der sich aber von oben her

Digitized by Google

doch die Wirkung der Strahlung geltend machte und dort eine zweite Sprungschicht erzeugte.

Auch im August erweist sich nach alledem die Sprungschicht noch immer als etwas Unbeständiges. Selbst an ein und demselben Tage zeigt sie große Veränderungen, wie das aus unseren Beobachtungen am 15., 27., 28. und 29. August 1894 (Nr. 7, 8, 17—23) hervorgeht.

Am lebhaftesten ist die thermische Änderung am 27. August (Nr. 17—19). Vom Vormittag zum Mittag bemerken wir in den obersten Schichten eine starke Erwärmung, die zur Bildung einer sehr klar ausgeprägten Sprungschicht führt. Diese Erwärmung reicht bis $7\frac{1}{2}$ m. Dann kommen wir in eine Region der Abkühlung, die bis 15 m sich erstreckt und eine Hebung der Sprungschicht darstellt. Unterhalb der Sprungschicht ist dagegen die Temperatur allgemein gestiegen. Das Ganze macht den Eindruck, als ob die schichtweise Erwärmung auf Kosten derjenigen Schicht erfolgt sei, die eine Abkühlung aufweist, das ist z. T. die Sprungschicht selbst, die am Morgen noch bis 8° reichte, während sie mittags schon bei 10° endet. In Wirklichkeit haben wir in den erwärmten Schichten zweifellos eine Wirkung der Strahlung vor uns, während die Abkühlung durch Ausgleichsströmungen zu erklären ist, die in der voraufgegangenen Nacht eingeleitet sind, aber mittags noch nicht zur Ruhe gekommen waren. Abends beobachten wir bereits wieder eine Abkühlung in den tieferen Schichten, während im Bereiche der Sprungschicht und darüber die Temperatur des Wassers noch gestiegen ist. Die Strahlung der Sonne verliert offenbar mit dem Sinken der Sonne von unten nach oben an Kraft.

Obwohl die täglichen Beobachtungen nur in geringer Zahl ausgeführt wurden, so lassen sie doch einen Schluß auf eine gewisse Gesetzmäßigkeit erkennen. Allerdings gelten diese nur für die Witterung, die an jenen Tagen herrschte, welche eine heitere war, und für die Dauer dieser Witterung. Beständigkeit des Wetters war leider in den Zeiten, in denen der Verfasser am See weilte, eine Seltenheit, weshalb es ihm auch nicht möglich war, die Messungen zu wiederholen. Auch am 28. und 29. August wurden die Abendbeobachtungen durch ungünstiges Wetter vereitelt.

Die Gesetzmäßigkeit ist folgende: Vormittags tritt eine Erwärmung in den Wasserschichten nahe der Oberfläche und unterhalb der Sprungschicht ein. Im Bereiche der Sprungschicht selbst und unmittelbar darüber erniedrigt sich die Temperatur. Infolgedessen erscheint die Sprungschicht mittags gehoben und räumlich verkürzt, auch ihr Umfang hat sich vermindert, am 28. August (Nr. 20, 21)

Digitized by Google

z. B. von 8° auf 5°. Im Laufe des Nachmittags stellt sich unterhalb der Sprungschicht eine Erkaltung ein, während oberhalb derselben die Erwärmung noch fortdauert, in ihrem Bereiche selbst aber die Temperatur ebenfalls steigt. Als Wirkung dieses Vorganges haben wir eine Verschiebung der Sprungschicht abwärts zugleich mit einer Erweiterung derselben, ebenfalls wieder in Bezug auf den Raum wie auf Umfang an Graden. Am 27. August umfaßt sie abends 8°, mittags nur 6°.

Etwas ruhiger gestalten sich offenbar die thermischen Verhältnisse im September. Es überwiegt in dieser Jahreszeit bereits die Ausstrahlung erheblich die Zustrahlung. Infolgedessen hat die gleichmäßig warme Wassermasse oberhalb der Sprungschicht an Mächtigkeit zugenommen. Die Sprungschicht beginnt durchweg erst unter 10 m, mehrfach sogar erst unter 12,5 m. Im allgemeinen ist die Sprungschicht räumlich beschränkt, indem sie meist bei 15 m schon ihre untere Grenze erreicht. Auch ihr thermischer Umfang ist nicht groß, sie umfaßt nur 4—5°.

Im September 1895 bieten uns die thermischen Lotungen allerdings ein hiervon etwas abweichendes Bild. Die Temperaturreihen passen noch ganz in den August hinein. In diesem Jahre war der September sehr warm und infolgedessen fehlte die oberflächliche Abkühlung, die uns in den übrigen Jahren die scharf ausgeprägte und bereits tiefer gerückte Septembersprungschicht geschaffen hat. Ein Vordringen der Wärme in die Tiefe macht sich aber auch im September 1895, allerdings nur in geringem Maße, geltend.

Diese Erwärmung in den tieferen Schichten und Abkühlung in den oberen dauert bis in den Oktober hinein fort. Während die thermischen Profile des September 10° etwa bei 10—14 m Tiefe zeigen, weisen die vom Oktober diese Temperatur noch in Tiefen von 17° auf. Aber die Erwärmung reicht nicht mehr bis zu größeren Tiefen, von 25 m an etwa ist eine geringe Abkühlung bemerkbar. Diese schreitet vermutlich fort, bis die obere und untere Abkühlungszone sich berühren, was im Laufe des Winters eintreten wird. In den oberen Schichten ist die Abkühlung schon eine ziemlich beträchtliche, sie umfaßt die ganzen Wassermassen bis zur Sprungschicht, die infolgedessen überall die gleiche Temperatur besitzen. Die starke Abkühlung von oben hat die Sprungschicht heruntergedrückt, wir finden sie teilweise erst bei 13 und 14 m. Ihr Umfang ist im Oktober 1894 auf 4° herabgesunken. Im Oktober 1895 beobachten wir allerdings noch einen Umfang von 7° am 8., aber die Sprungschicht ist nicht mehr so scharf ausgeprägt. In deutlicher Form umfaßt sie nur 3°.

Digitized by Google

Im Laufe des Winters verschwindet sie ganz, indem die Abkühlung immer tiefer eindringt. Sein Ende hat der Vorgang erreicht, wenn die Wassermasse bis zum Grunde annähernd die gleiche Temperatur aufweist. Das war im Januar 1901 der Fall.

Die Sprungschicht ist somit nach den Beobachtungen im Würmsee und auch nach denen an anderen Seen etwas sehr Veränderliches. Offenbar ist sie in steter Umbildung begriffen. Selbst an demselben Orte ändert sich ihre Lage. Hintereinander ausgeführte Messungen an derselben Stelle gaben wiederholt ganz verschiedene Resultate, wie das unsere Tabellen zeigen, z. B. am 16., 23., 24. und 27. August 1894 (Nr. 9, 14, 15 u. 18). Solche Abweichungen in den Resultaten der Messungen an derselben Stelle sind jedoch fast nur innerhalb der Sprungschicht, namentlich an deren unterer Grenze beobachtet worden, sodaß daraus in der That für diese Region des Wassers eine große thermische Bewegung angenommen werden muß.

Daß die Abweichungen etwa auf Ungenauigkeit der Beobachtung oder Unzuverlässigkeit des Thermometers beruhen könnten, ist gänzlich ausgeschlossen. Auch die Annahme ist hier nicht zulässig, daß durch das Aufziehen und Fallenlassen des Thermometers die Ruhelage des Wassers gestört sei, aus Gründen, die wir bereits bei der Beschreibung des Thermometers (S. 121) angegeben haben.

Der Wechsel der Temperatur ist eine Thatsache. Sie macht eine Untersuchung über den täglichen Gang der Temperatur fast illusorisch, da in gewissen Schichten niemals die normale Wärme ermittelt werden kann, sondern immer nur die augenblicklich zur Zeit der Beobachtung vorhandene. Auch die Angaben über die Lage und den Umfang der Sprungschicht verlieren dadurch etwas an Wert; namentlich ist die untere Grenze nie mit Sicherheit anzugeben, da hier die thermischen Veränderungen häufiger auftreten.

Die horizontalen Änderungen der vertikalen Temperaturverteilung.

Der Wechsel der Temperatur bei wiederholten Beobachtungen an demselben Punkte dürfte häufig freilich zugleich auch durch eine örtliche Verschiebung des Bootes noch verstärkt werden. Denn nur selten wird selbst bei Verankerung des Bootes das Thermometer wieder in derselben Wassersäule hinabgelassen werden. Die Beobachtungen würden uns dann also lehren, daß auch von Ort zu Ort die Temperatur wechselt, daß also die Flächen gleicher Wärme keineswegs eben sind, sondern auf- und abwärts steigen, vermutlich wellig sind, eine Erscheinung, die von Hergesell und Langenbeck bereits im Weissen See im Wasgau festgestellt wurde.[6]

Digitized by Google

Auch diese örtlichen Veränderungen der Wärmeverteilung wurden näher untersucht. Sie sind stets vorhanden und erreichen zuweilen einen ziemlich hohen Betrag.

Zum erstenmale wurden sie beobachtet am 11. Juni 1895 (Nr. 32). Infolge eines leichten Windes wurde das Boot von seiner ursprünglichen Meßstelle stark abgetrieben. Bei der Nachmessung fand sich dann in den oberen Schichten eine wesentlich andere Wärmeverteilung, als zuvor bestimmt war. An diesem Tage war der Himmel völlig bedeckt, eine starke Erwärmung des Wassers durch Sonnenbestrahlung war ausgeschlossen, trotzdem fanden sich an der zweiten Meßstelle vollkommen andere Werte, die in der gleichen Tiefe sogar um 2,7 ° höher lagen. Auch die Beobachtung am folgenden Tage, am 12. Juni (Nr. 33), die an einer Stelle nördlich der Linie Tutzing—Ammerland ausgeführt wurde, zeigte eine auffallende Abweichung von den Resultaten am Tage zuvor, ohne daß eine starke Erwärmung durch Besonnung eingetreten sein konnte, sodaß man auch daraus auf eine Verschiedenheit der vertikalen Temperaturverteilung schließen mußte.

Diese mehr zufälligen Beobachtungen gaben Veranlassung zur Aufnahme mehrerer thermischer Profile. Es wurden in bestimmten Abständen in einer Linie über den See hintereinander thermische Lotungen ausgeführt. Damit die einzelnen Messungsreihen zeitlich möglichst nahe aufeinander folgten, wurde nur von 5 zu 5 m die Temperatur bestimmt und die Messung im allgemeinen nur bis 30 m Tiefe ausgedehnt. Trotzdem erforderten die Aufnahmen mehrere Stunden. Sicher war eine Erwärmung durch die zunehmende Bestrahlung innerhalb dieses Zeitraums vorhanden. Um den Betrag derselben zu ermitteln, wurden bei der Rückfahrt an den nämlichen Stellen wie bei der Hinfahrt einige Messungen wiederholt. Sie zeigten, daß die Erwärmung doch meist nur in den obersten Schichten eingetreten war, was nach unseren obigen Ausführungen auch von vornherein zu erwarten war.

Im allgemeinen lehren uns die thermischen Profile zunächst, daß thatsächlich die Flächen gleicher Wärme im Wasser keine Ebenen bilden. Allerdings sind die Beobachtungen nicht völlig gleichzeitig ausgeführt. Es liegen aber doch nur Zeiträume von weniger als einer Stunde dazwischen. Große thermische Änderungen sind in so kurzer Zeit nicht möglich. Die beobachteten Abweichungen sind jedenfalls zu groß, als daß sie dadurch erklärt werden könnten. Nur für die Oberflächentemperaturen sind die Änderungen auf die unmittelbare Erwärmung zurückzuführen.

Am stärksten sind die Abweichungen im Bereiche oder nahe der Sprungschicht, also bei 10—15 m. Im allgemeinen ist im Osten

Digitized by Google

Datum	21. Juni 95		21. August 1895							8. Sept. 95		10. September 1896				5. September 1899				
Stunde *)	7 30 am	9 am	7 am	7 50 am	8 40 am	9 25 am	10 am	10 40 am	11 20 am	7 30 am	9 30 am	9 am	9 45 am	10 40 am	11 40 am	8 50 am	9 50 am	10 40 am	11 20 am	11 40 am
Wetter																				
Bewölkung	10					0					4			3—5				0		
Wind	2					0					0			0				0		
Ort der Messung	Bei Bernried	Bei Ambach	600	1350	2100	2500	2100	1350	600	1000	2000	750	1500	2250	750	750	1500	2250	1500	750
			m vom Westufer							m v. Westufer		m vom Westufer				m vom Westufer				
Tiefe m																				
0,0	16,80	17,40	18,90	19,40	19,90	20,30	20,00	20,40	20,00	14,80	14,90	17,00	17,30	17,60	17,70	19,70	20,20	20,80	21,20	21,30
2,5	14,80	17,50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5,0	13,00	14,30	18,10	18,00	17,80	—	—	—	—	14,90	14,95	16,10	16,10	16,10	16,20	19,20	19,40	19,30	19,40	19,30
7,5	10,15	11,40	17,50	17,60	17,50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10,0	—	—	17,00	16,30	17,20	17,10	17,10	16,20	15,50	14,80	14,95	15,30	15,10	15,70	15,80	15,60	18,00	16,80	18,00	18,00
12,5	—	—	10,90	11,05	12.20	—	—	—	—	14,60	14,95	11,90	12,30	12,70	13,20	12,40	12,60	12,90	—	—
15,0	—	—	8,80	9,05	8,90	—	—	—	—	11,70	13,20	8,70	9,20	9,10	9,50	9,70	10,20	10,20	10,20	—
17,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9,50	9,20	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20,0	—	—	6,60	6,90	6,20	—	—	—	—	7,10	7,15	6,50	6,90	6,80	6,50	7,80	7,90	8,10	—	—
25,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30,0	—	—	5,15	5,30	5,20	—	—	—	—	5,20	5,20	4,90	5,00	5,05	—	6,80	6,30	6,30	—	—
40,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,60	5,70	5,70	—	—
60,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,10	4,10	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ergänzungsmessungen.											m 17,5 : 8,7 17,5* : 9,1									
Nummer d. Messung.	a	b	a	b	c	d	e	f	g	a	b	a	b	c	d	a	b	c	d	e
	32		36							41		47				50				

*) Die grösseren Ziffern bedeuten die Stunden, die kleineren die Minuten.

Digitized by Google

des Sees die Temperatur eine höhere als im Westen, namentlich an der unteren Grenze der Sprungschicht. Vielleicht spricht sich hierin eine Gesetzmäßigkeit aus, die besagen würde, daß der See auf seiner Ostseite stärker erwärmt wird. Bei den Anwohnern ist der Glaube an eine solche stärkere Erwärmung allgemein eingebürgert. Man findet z. B. in Ambach die Ansicht verbreitet, daß das Wasser am Ambacher Ufer wärmer sei als am Bernrieder. Theoretisch könnte man diese Erscheinung nur dadurch erklären, daß die Ostseite des Sees stärker und länger der Besonnung ausgesetzt ist. Am Westufer finden wir hier Wälder und beträchtliche Anhöhen, die ziemlich früh einen Teil des Sees in Schatten bringen, während die Ostseite den ganzen Tag über bis zum Abend der Sonne ausgesetzt ist. Weiter wäre an eine Wirkung der Zuflüsse zu denken. Der See wird von Westen aus reichlicher gespeist als von Osten, wo ihn auf lange Strecken unmittelbar steile Ufer begleiten, die nur selten von einem Bache durchbrochen werden. Endlich ist auch nicht außer acht zu lassen, daß wir häufig andauernde Westwinde am Würmsee haben, die eine Anhäufung warmen Wassers nach Osten bewirken könnten, wodurch also die Sprungschicht herabgedrückt wird.

Jedenfalls beweisen die Profile thatsächlich die Verschiedenheit der vertikalen Temperaturverteilung im See. In Zukunft wird man bei der Untersuchung der thermischen Verhältnisse mit diesem Faktor rechnen müssen.

Änderungen von Jahr zu Jahr.

Aus den vorstehenden Ausführungen ergiebt sich, daß die vertikale Temperaturverteilung während des Jahres großen Änderungen unterworfen ist, die allerdings nur die oberen Schichten betreffen. Im Gegensatze dazu weichen die thermischen Zustände in den verschiedenen Jahren außerordentlich wenig von einander ab. Große Verschiedenheiten machen sich nur in den oberen Schichten geltend. Die Lage der Sprungschicht dagegen und die Temperaturverhältnisse darunter sind in jedem Jahre annähernd dieselben. Auch das deutet darauf hin, daß wir es hauptsächlich mit einer Wirkung der Sonnenstrahlung zu thun haben, weil nur diese eine solche Beständigkeit besitzt. Nur das Jahr 1897 macht eine Ausnahme. In diesem Jahre finden wir im August (Nr. 48) noch in einer Tiefe von 70 m 5,0°, während in vorhergehenden Jahren schon zwischen 30 und 40 m das Wasser unter diese Temperatur sinkt. 1897 haben wir bis 30 m noch 6,2 und bei 40 m 5,5°. Auch im September desselben Jahres ergab eine thermische Lotung (Nr. 49) ähnliche Werte. Wir finden 5°

Digitized by Google

noch bis 60 m und bei 30 m noch immer 6,0°. Wir sehen daraus, daß in einzelnen Jahren die Erwärmung des Wassers doch eine bedeutende Steigerung erfahren kann. Unstreitig liegt der Grund dafür in dem allgemeinen Witterungscharakter und zwar dürfte namentlich der Frühsommer entscheidend sein. 1897 erfreute sich Süddeutschland während des Mai, Juni und auch noch Juli vorwiegend heiteren warmen Wetters. Die Wirkung der Sonnenstrahlen war also sehr stark, sie wurde durch Wolken nur wenig geschwächt. Erst im August trat relativ kühlere Witterung ein. Diese blieb aber für die Wärmeverhältnisse in den tieferen Schichten ohne Bedeutung. In den Jahren 1894, 95 und 96 war dagegen der allgemeine Witterungscharakter ein wesentlich anderer. Wir haben in diesen Jahren gerade in der ersten Hälfte viel kühles und trübes Wetter gehabt.

Litteratur.

[1] W. Ule, Die Gewässerkunde im letzten Jahrzehnt. I. Teil: Die Seenkunde. (Hettners Geograph. Zeitschrift. 5. Jahrg. 1899.)

[2] E. Richter, Seestudien. (Geograph. Abhandl. v. A. Penck. VI, 2) Wien 1897.

[3] Forel, F. A., Handbuch der Seenkunde. S. a. a. O.

[4] E. Richter, Seestudien (S. 68). S. unter 1.

[5] E. Richter, Die Temperaturverhältnisse der Alpenseen. (Verhandl. des IX. Deutschen Geographentages zu Wien. Berlin 1891.)

[6] Hergesell, Langenbeck und Rudolph, Die Seen der Südvogesen. (Geograph. Abhandl. a. d. Reichslanden Elsass-Lothringen. H. v. Gerland. 1. Heft. Stuttgart 1892.)

Vergleich mit anderen Seen.

Da nach den zahlreichen Untersuchungen die thermischen Verhältnisse in unseren Binnenseen sehr verschieden sich entwickeln, so war ein Vergleich der Beobachtungen am Würmsee mit solchen an anderen Seen wünschenswert. Wenn auch die Ursache der Erwärmung des Wassers überall die gleiche, nämlich die Besonnung, ist, so hängt doch die Wirkung dieser auch von einer Reihe anderer Faktoren ab, zu denen in erster Linie die Höhenlage, die Beckenform und die Speisung des Sees gehören.

Um geeignete Vergleichswerte zu erhalten, wurden im September 1893 mehrere Alpenseen thermisch untersucht. Dem Verfasser lag daran namentlich von solchen Seen Messungen zu bekommen, die ihrer Lage und Gestalt nach erheblich von dem Würmsee abweichen. Dafür schien ihm am zweckmäßigsten der Schliersee als ein Beispiel eines alpinen Randsees, ferner der Achensee und der Walchensee als Beispiele echter Alpenseen. Die Beobachtungen wurden thunlichst

Digitized by Google

Tiefentemperaturen. IV a.

	Schliersee							Achensee	Walchensee			Mauersee	Taltowisko-see	Millstätter-see	Würmsee	
Meereshöhe m	778							920	800			117	117	580	584	
	1893						1894	1893	1893			1892	1892	1893	1893	
Datum Stunde	5./9. 10—12 am	 11—12 am	6./9. 9—10 am	7./9. 9—10 am	10./9. 9—10 am	25./9. 10—11 am	17./3. 10—11 am	18./9. 11—12 am	15./9. 10—11 am	15./9. 4—6 pm	16./9. 9—10 am	22./9. 2—3 pm	2./9. 8—9 am		21./9. 12—2 pm	23./9. 8—9 am
Wetter Bew.	heiter		heiter	7	5	8			0	heiter	3	8	0		3	
Wetter Wind	0		0	2	2	0			0	4	0	1	1		2	
Tiefe in m 0,0	16,60	16,80	17,20	17,00	16,30	15,50	3,70	14,70	16,50	16,60	16,70	16,60	18,60	20,00	17,30	16,30
2,5	16,20	—	16,50	16,70	16,30	15,00	—	14,60	16,50	16,50	16,40	—	—	—	16,90	16,30
5,0	16,00	16,20	16,30	16,35	16,10	14,90	3,60	14,50	16,40	16,20	16,30	16,20	18,70	19,50	16,70	16,30
7,5	13,00	—	12,50	13,00	12,40	14,30	—	14,40	16,30	15,80	16,20	—	—	—	16,60	16,30
10,0	7,40	8,20	7,60	7,00	8,40	8,50	3,60	13,80	16,00	13,20	16,10	16,20	18,60	18,40	16,60	16,30
12,5	5,80	—	5,80	5,80	6,30	6,00	—	12,60	10,30	9,50	9,60	—	—	—	13,90	9,70
15,0	5,50	5,50	5,40	5,45	5,50	5,50	—	10,70	7,90	7,50	7,40	16,10	11,60	9,50	9,50	7,90
20,0	5,40	5,40	4,80	4,70	—	5,05	3,80	7,10	—	6,10	5,90	15,90	8,00	5,75	7,20	6,60
25,0	4,50	—	4,60	4,50	—	4,70	—	6,30	—	5,10	—	9,80	7,60	5,60	5,80	5,60
30,0	4,30	—	4,40	—	—	4,30	4,20	—	—	4,90	4,80	9,40	7,40	5,00	5,40	5,20
40,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,30	—	—	—	4,70	4,70
50,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,10	—	—	4,50	4,30	4,40
Ergänzungsmessungen in m	6=16,0 7=14,1 8=11,5 9= 9,4 11= 6,8 39= 4,2	37=4,5 — — — — —	6=14,5 7=13,4 8=10,8 9= 9,8 11= 6,6 38= 4,2	6=15,9 7=13,9 8=11,7 9= 9,1 11= 6,5 —	— — — — — —	— — — — — —	38=4,3 — — — — —	17,5=8,2 — — — — —	17=6,4 — — — — —	17,5=6,5 — — — — —	— — — — — —	35=9,2 — — — — —	— — — — — —	80=4,4 100=4,4 119=4,6 — — —	17,5 : 7,5 75,0:4,05 — — — —	11:14,8 12:11,6 13:9,6 17,5:7,3 70:4,1 —
Bemerkungen															Abends Gewitter.	Tags vorher Regen Zuweilen starker Wind.
Nummer der Messung.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII a	XII b	XIII	1	2

rasch hintereinander ausgeführt, sie fallen sämtlich auf den Monat September und zwar liegen die wichtigsten noch nicht 10 Tage auseinander. Die Ergebnisse sind in der vorstehenden Tabelle niedergelegt und durch die Profile (Tiefentemperatur IV) auf Tafel VII unseres Atlas veranschaulicht.

Zunächst lehrten die Beobachtungen, daß trotz der verschiedenen Höhenlage die Oberflächentemperatur in den genannten Seen nur wenig von einander abweicht. Nur der viel höher gelegene Achensee (Nr. VIII) erweist sich als sehr kühl, die Oberflächentemperatur ist rund um 2° niedriger. Dieser echte Gebirgssee, der eine tiefe schmale Rinne ausfüllt, zeigt überhaupt abnorme Wärmeverhältnisse. Es fehlt eine stark ausgeprägte Sprungschicht, sie ist zwar vorhanden, aber fast auf 9 m ausgedehnt und umfaßt nur 6°. Außerdem liegt sie für einen Alpensee verhältnismäßig tief, sodaß die obere Schicht mit gleichmäßiger Temperatur eine große Mächtigkeit erlangt hat. Man wird die eigenartige Erwärmung dieses Sees wohl aus seiner Lage erklären müssen; vor allem dürfte die große Meereshöhe des Sees eine geringere Erwärmung bedingen, sodann werden vermutlich auch die steil aufragenden Bergwände zu beiden Seiten die Sonnenstrahlung stark behindern. Der See tritt sehr frühzeitig in den Schatten. Am Walchensee ist das nicht in dem Maße der Fall, da dort doch nach mehreren Seiten hin flaches Land den See begrenzt.

Im Walchensee (Nr. IX—XI) gleichen die thermischen Verhältnisse etwas denen im Würmsee. Die Sprungschicht beginnt ein klein wenig höher; die obere Grenze liegt bei etwa 8—10 m, die untere bei 13 bis 14 m. Im Würmsee (Nr. 1 u. 2) sind die entsprechenden Zahlen 10, bez. 15 und 16 m. In beiden Seen umfaßt die Sprungschicht gegen 8°, reicht also von 16—8°. Ein auffallender Unterschied zeigt sich aber in den tieferen Schichten. Hier macht sich der Charakter des tief in hohe Berge eingesenkten Alpensees durch verhältnismäßig niedere Temperaturen geltend. Schon in einer Tiefe von 20 m haben wir kaum noch 6°, wo im Würmsee 7,2 und 6,6° beobachtet wurden. Auch in den größeren Tiefen bis 50 m bleibt ein Unterschied von 0,3 bis 0,5° bestehen, was in diesen Regionen für den Würmsee eine ziemlich starke Erwärmung bedeutet. Die Oberflächentemperaturen kommen sich in beiden sehr nahe. Freilich liegen zwischen den Messungen am Walchensee und denen am Würmsee immerhin 6—7 Tage, sodaß die Oberflächentemperaturen in ersterem doch niedriger erscheinen, wohl eine Folge der größeren Meereshöhe seines Spiegels.

Recht interessante Werte lieferte der kleine Schliersee (Nr. I—VII). Trotz seiner geringen Tiefe erscheint er als der kälteste der untersuchten Seen. Die Sprungschicht endet schon bei 10—12,5 m und zwar

Digitized by Google

mit der niedrigen Temperatur von 6—7°. In den tieferen Regionen hat er ebenfalls noch sehr kaltes Wasser. Die Schichten oberhalb sind dagegen warm. Allerdings auch hier scheint die Abkühlung im Herbst ziemlich rasch zu erfolgen. Während am 23. September im Würmsee noch 16,3° bis zur Tiefe von 10 m beobachtet wurden, finden wir im Schliersee am 25. September nur noch 15,5° an der Oberfläche und bei 5 m sogar nur noch 14,9°.

Der Schliersee ist nach alledem ein verhältnismäßig kalter See. Da er seiner Höhenlage nach sich den übrigen untersuchten Seen einreiht und er nur von niedrigen Bergrücken umrahmt ist, so kann die Ursache der geringen Erwärmung nicht etwa Mangel an Sonnenbestrahlung sein. Die niedrige Temperatur dürfte vielleicht in der Art der Speisung eine Erklärung finden. Der See erhält nur wenig oberflächlichen Zufluß und wird zweifellos stark durch Grundwasser gespeist. Aber auch diese Verhältnisse reichen nicht aus, die ganze Erscheinung zu erklären, da in einer Höhe von 778 m wohl kaum das Grundwasser schon eine Temperatur von 4—5° besitzt. Freilich ist die Gleichmäßigkeit der Temperatur in den tieferen Schichten auffallend; von 12,5 m an nimmt die Temperatur nur noch um 1,6 bis 1,8° ab. Das würde gewiß für einen solchen Ursprung der niedrigen Temperatur durch Grundwasserspeisung sprechen; allein es erklärte nicht, warum doch so außerordentlich niedrige Temperaturen von 4,3 und 4,5° in Tiefen von 25—30 m zu finden sind. Außerdem sollte man auch im Winter dann eine höhere Temperatur erwarten. Die am 17. März 1894 (Nr. VII) ausgeführte Beobachtung zeigt aber, daß der ganze See bis fast zum Grunde stark abgekühlt ist.

Es macht durchaus den Eindruck, als ob durch irgend einen Faktor das Eindringen der Sonnenstrahlen in die größeren Tiefen behindert werde, sodaß diese auch nur eine geringe Erwärmung erfahren könnten. Das scheint in der That der Fall zu sein. Der Schliersee hat ein sehr trübes Wasser. Eine eingetauchte weiße Scheibe wird im September schon bei 2,4—2,6 m unsichtbar, während gleichzeitig im Würmsee diese Sichtbarkeitsgrenze in einer Tiefe von 4,7—5 m, im Achensee von 9,5 und im Walchensee von 9—11,4 m lag. Diese Trübung des Wassers im Schliersee ist wohl durch die an losen Kalkteilen sehr reichen Zuflüsse bedingt. Das Wasser des Sees erscheint wie von Staub erfüllt. Wie aber diese Trübung das Eindringen des Lichtes behindert, so hemmt sie sicher auch das der Wärme. Wir würden damit einen neuen Faktor kennen lernen, der für die vertikale Temperaturverteilung in den Binnenseen von Wichtigkeit ist, nämlich die größere oder geringere Klarheit des Wassers.

Digitized by Google

Am Würmsee bedingt sie offenbar die Abnahme der Wärmezunahme in den größeren Tiefen während des Sommers, da in dieser Jahreszeit das Wasser sehr trüb ist.

Eine sehr geringe Durchsichtigkeit zeigt sich im Schliersee auch im Winter. Am 17. März 1894 fanden wir die Sichtbarkeitsgrenze schon bei 5 m, während am Tage zuvor im Würmsee erst bei 13,5 m die weiße Scheibe verschwand. Die gleichzeitigen Temperaturbeobachtungen bestätigen aber ebenfalls den obigen Satz, daß die Strahlung durch die Trübung verringert wird. In dem klareren Würmsee haben wir eine Abkühlung bis auf 3,4 ° noch in 80 m Tiefe, im Schliersee ist dagegen die Temperatur bei 10 m nur auf 3,6 und bei 20 m auf 3,8 ° gesunken. Bei 30 m zeigt sich fast noch die normale Temperatur. Hier scheint also auch im Winter die Ausstrahlung nicht bis 30 m vorzudringen; im Würmsee reicht sie vermutlich bis zum Grunde.

Aus unseren Betrachtungen dürfte hervorgehen, daß gleichzeitige Untersuchungen über die Grenze des Lichtes überhaupt interessante Beziehungen zur vertikalen Temperaturverteilung zu Tage fördern würden.

In diesen alpinen Seen hatten wir es mit Formen zu thun, die nach Lage und Gestalt eine gewisse Verwandtschaft zeigen. Es hat aber gewiß auch Interesse, einen ähnlichen Vergleich mit vollkommen anderen Seen anzustellen. Aus dem September 1893 steht uns leider nur eine Beobachtung Richters aus dem Millstätter See im Draugebiete vom 6. September (Nr. XIII) zur Verfügung. Auch dieser ist ein Alpensee, aber er liegt doch in einem orographisch wie klimatisch vollkommen anders gestalteten Lande. Seine Meereshöhe von 580 m kommt der des Würmsees nahe, an Tiefe übertrifft er diesen aber etwas; seine Maximaltiefe beträgt 141 m, seine Größe 13,25 qkm. In diesem weit südlicher gelegenen See herrschte, allerdings Anfang September, noch eine sehr hohe Oberflächentemperatur. Die Sprungschicht liegt offenbar zwischen 10 und etwas mehr als 15 m. Sie erscheint sehr bedeutend. In den größeren Tiefen finden wir dann wieder relativ hohe Wärme, bei 30 m 5,0 °, bei 50 m 4,5° und bei 119 m noch 4,6 °. Ähnliche thermische Verhältnisse sind von Richter auch noch für den Faakersee und den Wocheinersee festgestellt worden.[5] Dort ist die Erwärmung in den tieferen Schichten sogar noch größer. Da alle diese Seen weit südlicher liegen, so ist die Ursache der größeren Erwärmung offenbar in der durch die südlichere Lage bedingten größeren Besonnung zu suchen.

Aus dem baltischen Seengebiete liegen uns für den September 1893 leider keine Beobachtungen vor. Um aber ein Vergleichsobjekt

Digitized by Google

zu schaffen, haben wir auf das Jahr 1892 zurückgegriffen. Als Objekte haben wir den Mauersee und den Taltowiskosee (Nr. XII a und b) gewählt.*) Beide liegen in Ostpreußen in den Masuren und können als zwei typische Formen gelten. Der 38 m tiefe Mauersee ist ein Beispiel eines echten Grundmoränensees, er stellt ein seiner Bodengestalt nach vielgegliedertes Becken dar; der Taltowiskosee ist nur die tiefste Senke eines zum Teil vermoorten größeren Grundmoränensees, er ist ein tiefes steilwandiges Becken, im Aufbaue den alpinen Seen ähnlich.

Der Unterschied der vertikalen Temperaturverteilung in diesen Seen von der der Alpenseen ist ein ganz bedeutender. Vor allem sind beide erheblich wärmer. Der Mauersee weist am Grunde noch 9 ° auf, der Taltowiskosee noch 7,4 °. In der Lage der Sprungschicht zeigt dieser noch am meisten Anähnlung an die Alpenseen. Die Sprungschicht beginnt etwa bei 10 m und endet bei 16 m, sie umfaßt 8 °. Wenn man aber bedenkt, daß diese thermische Lotung im Anfang September aufgenommen ist und zwar unmittelbar nach einer sehr warmen Periode, so erscheint doch auch die Übereinstimmung in den thermischen Verhältnissen nicht mehr so groß. Jedenfalls lehrt uns dieser See aber, daß in Becken, welche der Gestalt nach den alpinen Seen gleichen, auch ähnliche thermische Verhältnisse sich entwickeln können.

Ein ganz anderes Bild bietet uns der Mauersee. Obwohl er tiefer ist als der Taltowiskosee, hat er doch eine ganz erheblich höhere Temperatur. Die Sprungschicht beginnt nach der Beobachtung vom 22. September erst bei 20 m und erreicht ungefähr bei 24 m ihr Ende. Sie umfaßt nur 6 °. Unter der Sprungschicht treffen wir eine konstante Temperatur von 9—10 °. Im Vergleich zu den alpinen Seen haben wir also eine außerordentlich mächtige Schicht Wasser gleichmäßiger Wärme oberhalb der Sprungschicht und eine hohe Wärme unterhalb dieser. Die Durchsichtigkeit des Wassers entspricht annähernd der des Würmsees, die Sichtbarkeitsgrenze liegt zwischen 5 und 6 m. Die Ursache der thermischen Verschiedenheit ist offenbar vorwiegend die verschiedene Gestalt der Becken; der teilweise recht flache Mauersee wird bis auf den Grund durchwärmt und erhält rückstrahlend auch von diesem noch Wärme. Sodann dürfte auch die Art der Speisung in Betracht zu ziehen sein. Der Mauersee gehört vermutlich zu den Grundwasserseen, d. h. er wird hauptsächlich durch Grundwasser gespeist, das natürlich eine ziemlich hohe Temperatur — 9 bis 10 ° — hat. Der Unterschied

*) In den Profilen auf Tafel VII des Atlas sind infolge eines Versehens nur die Beobachtungen im Mauersee dargestellt.

Digitized by Google

ist jedenfalls nicht in der geographischen Lage, auch nicht in der Höhenlage noch in der Form der Umgebung begründet. Das beweisen die thermischen Zustände im Taltowiskosee.

Das interessante Resultat gab Veranlassung zu einer Wiederholung solcher gleichzeitiger Messungen an verschiedenen Seen. Im Juli 1900 besuchte der Verfasser unmittelbar hintereinander den

Tiefentemperaturen. IV b.

		Schliersee	Königsee	Achensee	Würmsee	Walchensee
Meereshöhe	m	778	601	920	584	800
Datum Stunde		21./7. 8—10 am	22./7. 8—10 am	23./7. 9—11 am	24./7. 3—5 pm	25./7. 9—11 am
Wetter	Bewölkung Wind	1 2	1 0	9 2—4	5 2	0 2—6
Tiefe in m	0,0	23,5	19,2	18,5	23,9	20,2
	2,5	22,0	17,1	18,7	22,2	19,3
	5,0	16,0	12,8	17,5	20,0	19,0
	7,5	12,1	8,5	14,0	16,1	16,0
	10,0	8,1	7,4	12,5	13,2	13,0
	12,5	7,4	6,8	11,0	10,1	8,5
	15,0	6,2	6,3	9,1	8,4	8,2
	17,5	6,1	—	9,0	7,2	7,2
	20,0	6,1	5,0	7,4	7,0	6,4
	25,0	5,9	—	6,6	6,0	6,0
	30,0	5,2	4,8	6,1	5,6	5,5
	40,0	—	4,8	5,2	5,3	5,0
	50,0	—	4,8	5,0	4,9	4,9
	75,0	—	4,3	4,7	4,3	4,3
	100,0	—	4,6	—	4,3	4,1
	150,0	—	5,0	—	—	4,0
Ergänzungsmessungen		38,5:5,0 Grund	188:5,0 Grund	115:4,8 Grund	113,5:4 2 Grund	181:40 Grund
Nummer der Messung.		XIV	XV	XVI	51	XVII

Schliersee, Königsee, Achensee, Würmsee und Walchensee. Die Witterung war für die Sammlung von Vergleichswerten außerordentlich günstig, sie blieb während der Tage die gleiche, sodaß die Beobachtungen wirklich ein Bild geben von den gleichzeitigen thermischen Zuständen in den verschiedenen Seen. Die Beobachtungen folgen sich Tag für Tag. Eine geringe Witterungsänderung war nur am Achensee eingetreten. Diese war aber auch nicht so erheblich, daß die Temperatur im See dadurch stark beeinflußt sein konnte.

Digitized by Google

Zu den früheren Seen tritt der Königsee neu hinzu. Diese tiefe Senke schien uns als ein weiterer Seentypus gut zu solchen Vergleichsuntersuchungen geeignet. Das Ergebnis der Messungen haben wir in der beigefügten Tabelle (Tiefentemperatur IV b) zusammengestellt und ebenfalls auf Tafel VII des Atlas durch Profile veranschaulicht.

Wieder zeigen sich in den Temperaturreihen wesentliche Verschiedenheiten. Zunächst macht sich schon in den Oberflächentemperaturen ein großer Gegensatz bemerkbar. Der Würmsee und der Schliersee zeichnen sich durch hohe Temperaturen an der Oberfläche aus. Die eigentlichen Alpenseen sind selbst in den heißen Julitagen nur wenig erwärmt. Berücksichtigen wir bei dem Achensee die Witterungsverhältnisse, so erscheint der Königsee entschieden am kühlsten, am wärmsten der Walchensee. Es ist gewiß richtig, wenn wir darin eine Wirkung der orographischen Verhältnisse der Seeumgebung erblicken. Der von 2000 m hohen Bergen eingeschlossene Königsee erhält naturgemäß auch die geringste Besonnung.

Der thermische Unterschied zwischen diesen Seen und den alpinen Rand- und Vorlandseen ist jedoch so groß, daß hier noch ein anderer Faktor eine Rolle spielen muß. Als solchen erkennen wir unschwer die geringe Durchsichtigkeit des Wassers. Während im Königsee und Walchensee die Scheibe erst bei 9—10 m verschwindet, verlieren wir sie im Schliersee und Würmsee schon bei 3—4 m aus dem Gesicht. Ob die geringe Durchsichtigkeit die größere Wärme bewirkt oder ob das Umgekehrte der Fall ist, bleibt allerdings noch unentschieden. Vermutlich treten beide Wirkungen zugleich ein.

In Bezug auf die vertikale Temperaturverteilung haben die neuen Beobachtungen das Ergebnis der früheren nur bestätigt. Der wenig durchsichtige Würmsee, der frei der Besonnung ausgesetzt ist, nur von kleinen Bächen gespeist wird und relativ das flachste Becken besitzt, ist in den oberen Schichten bis 12 m sehr stark erwärmt und zeigt auch in den tieferen Schichten noch eine ziemlich hohe Temperatur. In den obersten Schichten bis 2,5 m steht ihm der Schliersee sehr nahe. In diesem nimmt aber dann die Wärme rasch ab, sodaß er bei 15 und 17,5 m sogar im Vergleich zu den anderen Seen das kälteste Wasser zeigt. Die Beobachtung vom September 1893 findet also volle Bestätigung; der kleine, von trübem Wasser gefüllte See ist in der Tiefe sehr kalt.

Dem Würmsee kommt wieder am nächsten der Walchensee, dessen Tiefentemperaturen außerordentlich denen jenes Beckens nahe stehen. Nur ist er in den oberen Schichten, vermutlich infolge der stärkeren Beschattung, der höheren Lage wie auch der größeren Klarheit des Wassers wegen erheblich kühler.

Digitized by Google

Der kälteste See ist entschieden der Königsee, der bis 75 m Tiefe in allen Schichten geringere Temperaturen zeigt als die anderen Seen. Die Ursache ist zweifellos der Mangel starker Besonnung, die in dem tiefen Thaleinschnitte unmöglich ist. Im Vergleiche zu ihm ist der so hoch gelegene Achensee, der ebenfalls ein tiefes Thal ausfüllt, warm. Der Achensee ist jedoch in seinem südlichen Teile auf der Westseite von flachem Ufer umgeben, also viel mehr der Besonnung ausgesetzt. Wenn er gleichwohl auch geringe Temperaturen nahe der Oberfläche zeigt, so ist das sicher auf die Höhenlage zurückzuführen. In den tieferen Schichten von 15 m an ist er auffallend warm. Diese im Vergleiche zu den anderen Seen hohe Temperatur ist vermutlich durch die große Durchsichtigkeit des Wassers bedingt. Die letztere konnte am Tage der Messung leider nur ungenau bestimmt werden, ist aber sicher nicht gering.

Wie bei der Beobachtung im Sept. 1893 fehlt auch in der neuen Temperaturreihe eine scharf ausgesprochene Sprungschicht. Am Königsee ist sie deutlich vorhanden, aber in sehr geringer Tiefe, sie liegt dort zwischen 2,5 und 7,5 m. Auch im Walchensee, Würmsee und Schliersee ist sie entwickelt; in den ersteren Seen ziemlich in gleicher Tiefe zwischen 5 und 12,5 m, in letzterem dagegen weit näher der Oberfläche zwischen 2,5 und 10 m. Wir haben hier eine Sprungschicht, die annähernd 14° umfaßt, während gleichzeitig im Würmsee und im Walchensee der Umfang der Sprungschicht etwa 10°, im Königsee 8,5°, im Achensee 7,5° beträgt.

Diese Unterschiede sind die Folgen der verschiedenartigen Erwärmung der Seen. Die höheren oberflächlichen Temperaturen in den offener gelegenen Seen — Schliersee, Walchensee und Würmsee — lehren uns wieder, daß die Hauptursache der Erwärmung unserer Binnenseen die Besonnung ist, deren Wirkung durch starke Ausstrahlung während der Nacht allerdings auch wieder aufgehoben werden kann, wie es wohl bei dem Achensee der Fall ist. Auf die Temperaturverhältnisse in den tieferen Schichten wirken neben der Sonne auch noch andere Faktoren ein. Starke Trübung des Wassers behindert das Eindringen der Wärme — Schliersee —, Klarheit desselben fördert es — Achensee —. Starke Beschattung vermindert die Bestrahlung und somit die Erwärmung in der ganzen Wassermasse, wofür der Königsee ein Beispiel liefert.

Bei der Untersuchung der verschiedenen Seen wurde besonders auch der Temperatur am Boden Aufmerksamkeit geschenkt. Wie bereits oben erwähnt ist, waren im Würmsee nur äußerst selten am Grunde höhere Temperaturen beobachtet worden, während Richter

Digitized by Google

solche mehrfach gefunden hatte, namentlich im Königsee, wo die Zunahme 1,5° erreichte.[3]

Da diese höhere Temperatur nicht immer sich einstellte, sondern in einzelnen Seen nur zuweilen ermittelt wurde und meist nur wenige Zehntelgrade betrug, so erscheint es nicht völlig ausgeschlossen, daß hier ein Beobachtungsfehler vorliegt. Das Umkehrthermometer in seiner gewöhnlichen Konstruktion muß in großer Tiefe unter dem hohen Wasserdrucke, durch den die Schwimmkraft des Holzes wesentlich vermindert wird, außerordentlich leicht umkippen. Es wird denkbar, daß schon das Aufstoßen des Lotes auf den Grund diese Umkehr bewirkt.

Bei der Konstruktion des Umkehrthermometers, das von dem Verfasser benutzt wurde, ist ein solches Versagen des Instrumentes vollkommen ausgeschlossen. Aus diesem Grunde sind vielleicht Zunahmen der Temperatur am Grunde im Würmsee so selten gefunden worden. Die wirklich beobachteten sind so gering, daß sie in den Bereich der Ablesungsfehler fallen.

Mit diesem Instrumente wurden nun in den verschiedenen Seen sorgfältig Messungen der Bodentemperaturen vorgenommen. Im Schliersee, Würmsee und Walchensee zeigte sich keine Spur davon, im Achensee fand sich nur eine Temperaturerhöhung von 0,1°, im Königsee war aber schon von 100 m an eine Erwärmung bemerkbar. Hier wurden in 75 m Tiefe 4,3, in 100 m 4,6 und in 150 bis 188 m Tiefe 5,0° beobachtet. Ein Fehler der Beobachtung ist ausgeschlossen, die von Richter gemachte Wahrnehmung durchaus bestätigt.

Richter erklärt diese Erscheinung als eine Wirkung der Erdwärme. Es liegt eine solche Erklärung allerdings sehr nahe. Denn daß etwa durch Fäulniswärme am Grunde eine so mächtige Wasserschicht erwärmt werden könnte, ist völlig undenkbar.

Indes so sehr auch die Annahme Richters zutreffend erscheinen mag, so kann sie bei näherer Prüfung doch nicht völlig befriedigen. Die Erdwärme ist eine konstante Wärmequelle, die jahraus, jahrein wirkt und infolgedessen einen Gleichgewichtszustand in dem See erzeugen muß. Durch die Erdwärme könnte wohl nur eine hohe Tiefentemperatur erklärt werden, schwerlich aber eine umgekehrte Wärmeschichtung, bei der kaltes, schweres Wasser dauernd über wärmerem leichterem ruht. Es müßten sofort Ausgleichströmungen entstehen, die bei der konstanten Erwärmung von unten eine Einheitstemperatur in den tieferen Schichten bis zum Grunde schaffen.

Die Wärmequelle am Grunde des Königsees müsste hiernach etwa eine veränderliche sein, die nicht in gleicher Weise den See zu erwärmen vermag und auch nicht ausreicht, der ganzen Wasser-

Digitized by Google

masse eine höhere Temperatur zu verleihen. Man möchte an eine Wärmezufuhr durch Thermen denken; allein es bleibt dann unerklärlich, wie sich die ganze untere Wassermasse so gleichmäßig erwärmen kann. Das Wasser der Thermen würde doch sofort zur Oberfläche aufsteigen und wieder nur dieser zu gute kommen.

Gegen eine unmittelbare Wirkung der Erdwärme spricht übrigens weiter der Umstand, daß im Königsee in den tieferen Schichten nicht immer der gleiche Wert gefunden ist. Richter hat 5,5—5° gemessen. Eine solche Schwankung ist fast unbegreiflich, da die Erdwärme immer den gleichen Grad besitzt.

Endlich erscheint es auffallend, daß die Zunahme der Wärme nur im Königsee in die Erscheinung tritt. Der doch sehr tief eingesenkte Walchensee zeigt keine Spur davon. Nun ist allerdings der Königsee ein ungewöhnlich tief eingesenktes Becken. Richter glaubt, daß infolgedessen die Geoisothermen unter dem See dichter gelagert sind und stärker wirken. Allein das könnte, wie wir oben gezeigt haben, nur eine höhere Temperatur der gesamten Wassermasse in der Tiefe erklären.

Eine mittelbare Wirkung der Erdwärme mag indes thatsächlich vorliegen; denn es ist schwer eine andere Ursache für die höhere Tiefentemperatur zu finden. Aber diese kann nicht zugleich auch die Ursache der verkehrten Schichtung sein. Es muß hier noch ein Faktor walten, der das wärmere Wasser in der Tiefe sich gleichsam ablagern läßt. Dieses Wasser müßte trotz der höheren Wärme schwerer sein als das darüber lagernde kältere. Nur so würde die eigenartige Schichtung begreiflich. Vielleicht können chemische Untersuchung wie aräometrische Bestimmung uns hier Aufklärung bringen. Es wäre möglich, daß der See in der Tiefe salzreicheres Wasser enthält. Ergäbe aber auch diese Untersuchung kein positives Resultat, so bliebe nur die Annahme übrig, daß die niedrige Temperatur in den mittleren Schichten die Folge der langsam zur Tiefe fortschreitenden winterlichen Abkühlung ist, daß also selbst bis zum Juli der Ausgleich der Wärme noch nicht vollendet ist. Jedenfalls ist die ganze Erscheinung nach unserem Dafürhalten noch immer ein ungelöstes Problem.

Litteratur.

[1] E. Richter, Seestudien. (Geograph. Abhandl. v. A. Penck. VI, 2.) Wien 1897.

[2] W. Ule, Beitrag zur physikalischen Erforschung der Baltischen Seen. (Forsch. z. deutsch. Landes- und Volkskunde. XI. 2.) Stuttgart, 1898.

[3] E. Richter, Seestudien (S. 68). S. unter 1.

Digitized by Google

Die systematische Stellung des Würmsees nach seinen thermischen Verhältnissen.

Forel hat auf Grund der vertikalen Wärmeverteilung die Binnenseen verschiedenen Typen zugeordnet.[1] Er geht bei seiner Einteilung von der Art der Wärmeschichtung aus. Nimmt die Temperatur von oben nach unten ab, lagert also das warme Wasser oben, so haben wir die rechte Wärmeschichtung (stratification directe), nimmt sie zu, ist das Wasser an der Oberfläche kalt, so haben wir die umgekehrte Schichtung (strat. inverse). Den ersten Zustand werden wir stets in den gleichmäßig warmen Gebieten der Erde finden. Forel bezeichnet diese Erscheinung darum auch als den tropischen Typus. Die verkehrte Schichtung kann dauernd sich natürlich nur in den kalten Gebieten der Erde einstellen. Diesen Typus nennt Forel daher den polaren. Wo Sommer und Winter sich durch Kälte und Wärme kennzeichnen, wie bei uns, werden wir je nach der Jahreszeit die eine oder die andere Schichtung antreffen; dieser Typus ist der gemäßigte oder temperierte.

Forels Einteilung gründet sich nur auf die allgemeine Wärmeschichtung. Die neueren Untersuchungen haben aber doch gezeigt, daß diese Schichtung eine sehr verschiedene sein kann. Die Seen des gemäßigten Typus müssen darum noch weiter gegliedert werden und zwar nicht nach der Dauer des Bestandes der Schichtung wie es Forel that, sondern nach der Art der Wärmeänderung mit der Tiefe.

Einen Versuch dazu finden wir bereits bei A. Geistbeck.[2] Er unterscheidet unter den Alpenseen warme und kalte. Die ersteren haben zur Zeit der höchsten sommerlichen Erwärmung eine Mitteltemperatur in einer Wassersäule weit höher als die Temperatur des Dichtemaximums, die kalten Seen dagegen eine davon nur wenig abweichende. Geistbeck hätte ebenso flache und tiefe Seen gegenüberstellen können; denn eine Betrachtung seiner Zusammenstellung giebt sofort zu erkennen, daß die kalten Seen auch die tieferen sind. Nach seinen Berechnungen gehört der Würmsee zu den kalten, der Ammersee zu den warmen. Ein Vergleich der zugehörigen thermischen Profile lehrt aber, daß sie zweifellos einen Typus darstellen, indem sie annähernd die gleiche vertikale Temperaturverteilung besitzen.

Aus unseren obigen Ausführungen geht hervor, daß diese vertikale Temperaturverteilung außer durch die Sonnenwirkung noch durch die geographische Lage, durch die Form der Becken und durch die Klarheit des Wassers bestimmt wird.

Auf Grund dessen möchten wir unter Beibehaltung der Forelschen Einteilung in tropische, temperierte und polare Seen, wofür wir aller-

Digitized by Google

dings lieber warme, gemäßigte und kalte Seen sagen möchten, die temperierten in folgender Weise klassifizieren:

A. Gemäßigte Seen des Flach- und Hügellandes.
   1. Flache Seen:
      a) mit klarem Wasser, warm bis zum Grunde, keine Sprungschicht,
      b) mit trübem Wasser, sehr warm an der Oberfläche, geringe Wärme in der Tiefe, Sprungschicht schwach ausgebildet.
   2. Tiefe Seen:
      a) mit klarem Wasser, geringe Wärme in den oberen Schichten, kalt in der Tiefe, Sprungschicht klein,
      b) mit trübem Wasser, hohe Wärme in den oberen Schichten, kalt in der Tiefe, Sprungschicht groß, in wechselnder Tiefe.

B. Gemäßigte Seen im Gebirge.
   1. Flache Seen:
      a) mit klarem Wasser, mäßig warm bis zum Grunde, Sprungschicht klein, nahe der Oberfläche,
      b) mit trübem Wasser, warm an der Oberfläche, kalt in der Tiefe, starke Sprungschicht.
   2. Tiefe Seen:
      a) mit klarem Wasser und geringer Besonnung, geringe Wärme an der Oberfläche, schwach ausgebildete Sprungschicht, kaltes Wasser in der Tiefe,
      b) mit klarem Wasser und starker Besonnung, geringe Wärme an der Oberfläche, sehr schwach ausgebildete Sprungschicht, größere Wärme in der Tiefe.

C. Gemäßigte Seen auf Hochflächen.

Für die letzteren Seen liegt uns kein ausreichendes Material vor, um eine weitere Gliederung durchführen zu können. Auch die obige Einteilung der Flach-, Hügellands- und Gebirgsseen darf keineswegs als eine endgiltige betrachtet werden. Sie soll nur den Weg angeben, auf dem wir zu einer alle Verhältnisse berücksichtigenden Klassifikation gelangen können. Um diese zu finden, ist noch weiteres Beobachtungsmaterial zu sammeln. Hier kann nur die vergleichende Methode zum Ziele führen; es müssen vor allem die verschiedenen geographischen und morphologischen Verhältnisse Beachtung finden, die in erster Linie gerade die Eigenart der vertikalen Temperaturverteilung in unseren Binnenseen bedingen.

Digitized by Google

Unter den von uns oben behandelten Seen fällt der Schliersee unter B 1 b, der Königsee unter B 2 a, der Achensee unter B 2 b; der Walchensee würde trotz seiner großen Tiefe zu B 1 a und B 2 b zu zählen sein, da er ein flaches und tiefes Becken zugleich aufweist. Von den baltischen Seen gehört der Taltowisko-See zu A 2 a, der Mauersee zu A 2 b; dieser vereinigt aber wieder zwei Typen, indem er zum Teil ein sehr flaches Becken darstellt, also dort unter A 1 b fällt.

Durch unser obiges System glauben wir die einzelnen Seen nach ihrem thermischen Zustande gut charakterisiert zu haben. Der Würmsee erscheint danach als ein tiefer See des Hügellandes mit trübem Wasser; er ist unter A 2 b einzureihen. Dem entspricht die hohe Wärme an der Oberfläche, die stark ausgebildete Sprungschicht und die niedrige Temperatur in den tieferen Schichten.

Litteratur.

[1] F. A. Forel, Handbuch der Seenkunde. S. a. a. O.
[2] A. Geistbeck, Die Seen u. s. w. S. a. a. O.

Farbe und Durchsichtigkeit des Wassers.

Die Ergebnisse der Messungen von Farbe und Durchsichtigkeit des Würmseewassers sind leider nicht von großer Bedeutung und überdies wenig umfangreich. Die Messungen selbst sind mehr im Interesse der Methode als in dem der limnologischen Forschung ausgeführt. Resultate von allgemeinerem Werte wären hier nur bei längerem, ununterbrochenem Aufenthalte zu erzielen gewesen, z. T. auf Kosten der übrigen Untersuchungen.

Die Farbe.

Methodisches.

Um eine Prüfung der Methode handelte es sich namentlich bei der Bestimmung der Wasserfarbe. Diese geschah mit Hilfe der Farbenskalen von Forel und dem Verfasser.[1] Sie besteht in einer Abschätzung der Farbe des Sees nach den in den Skalen vertretenen Farbentönen.

Diese Methode hat in neuerer Zeit vielfach Beanstandungen erfahren. Um unsere danach ausgeführten Bestimmungen zu rechtfertigen und ihren Wert klarzustellen, ist es deshalb notwendig, auf die Einwürfe, die erhoben sind, mit einigen Worten einzugehen.

Digitized by Google

Als entschiedene Gegner der Forelschen Methode sind namentlich Lorenz von Liburnau und W. Halbfaß aufgetreten.[2] Nach ihrer Ansicht ist sie nicht ausreichend, weil nicht alle Wasserfarben sich der Skala ohne weiteres einreihen lassen. Von Liburnau hebt mit einem gewissen Recht hervor, daß wir die Farben des Wassers nach zwei Richtungen zu beurteilen haben, einmal nach der Art, nach dem, was wir unter Farbe schlechthin verstehen, und dann nach dem Grade, also nach der Helligkeit. Wir finden die gleichen Farben dunkel oder hell, satt oder wässerig u. s. w. Die Forelsche Skala befriedige nur in einer Richtung, sie enthalte die Farben nur in einem Grade.

Obwohl dieser Einwand durchaus gerechtfertigt erscheint, halten wir ihn doch bei näherer Prüfung nicht für schwerwiegend, und zwar einfach aus dem Grunde, weil es auf den Grad der Farbe weniger ankommt. Dieser hängt nach unserer Kenntnis in erster Linie von der Beleuchtung ab. Dasselbe Wasser kann bald dunkler, bald heller erscheinen je nach der Art der Beleuchtung. Daß der Grad der Farbe im allgemeinen belanglos ist, geht theoretisch auch aus folgender Erwägung hervor. Die Grundfarbe aller Wasser ist blau; blau ist die Eigenfarbe des Wassers selbst, nicht hellblau oder dunkelblau, nicht ein sattes oder wässeriges Blau, sondern eine bestimmte Farbe blau. Da nun nach der übereinstimmenden Ansicht der meisten Limnologen sämtliche Wasserfarben nur Abänderungen der Eigenfarbe des Wassers sind, sind diese auch nur nach ihren Abweichungen im Farbentone, nicht nach ihrem Grade abzuschätzen.

Zugegeben muß allerdings werden, daß für die praktische Ausführung der Farbenbestimmung eine Abstufung nach dem Grade wünschenswert wäre. Die Abschätzung würde dadurch wesentlich erleichtert, da dunklere oder hellere Farbentöne leicht dem Auge anders gefärbt erscheinen, als sie es wirklich sind. Diesem Mangel kann man aber dadurch etwas abhelfen, daß man die Skala geneigt vor das Auge hält. Außerdem könnte man auch für die einzelnen Farben statt der cylindrischen Glasröhren konische anwenden. Die Kosten der Skala stellen sich dadurch etwas höher, aber man erhält dafür thatsächlich die erwünschte Abtönung der einzelnen Farben.

Die Bedenken gegen die Verwendbarkeit der Forelschen Skala gründen sich weiter auf die Unzulänglichkeit der Farben. Die Skala müsse erweitert werden, solle sie für alle Seen brauchbar sein. Hierbei überschätzt man wohl die Bedeutung der Farbenbestimmung an sich und will infolgedessen mehr erreichen, als nötig ist. Es handelt sich nach unserer Ansicht garnicht um eine absolut genaue

Digitized by Google

Wiedergabe der Wasserfarbe. Diese zu ermitteln würde außerordentlich große Schwierigkeiten bereiten und nur spektroskopisch möglich sein. Was bestimmt werden soll, ist der allgemeine Charakter der Wasserfarbe. Ob das Wasser sehr blau und darum vermutlich sehr rein ist, ob es eine gelb-grüne, wahrscheinlich durch feste Bestandteile bewirkte Färbung zeigt, oder ob eine entschieden braungrüne Nuance infolge Beimischung von humussaurem Wasser vorhanden ist, das soll entschieden werden. Dazu reicht die vorhandene Skala vollkommen aus. Wir halten es auch nicht für notwendig, daß man genau nur eine Farbe der Skala mit der Wasserfarbe in Übereinstimmung bringt, es genügt vollkommen, wenn nur die Lage der letzteren in der Skala ermittelt ist. Wenn es heißt, daß die Farbe eines Sees zwischen 6 und 8 der Forelschen Skala liegt, so ist das vollkommen ausreichend; jeder Kenner weiß dann, daß das Wasser ein lichtes Blaugrün zeigt. Zusätze wie hell, dunkel, satt u.s.w. würden dann noch ergänzend beigefügt werden können, um auch den Grad der Färbung zum Ausdrucke zu bringen. Der Verfasser hält es für wünschenswert, eher die Farbenreihe zu beschränken als zu erweitern, da sie dann an Übersichtlichkeit gewinnt und die Vorstellung erleichtert wird. Man muß ein derartiges Hilfsmittel eben ganz der Aufgabe anpassen, die uns die Forschung stellt, und nicht mehr in dasselbe hineinbringen, als nötig ist. Hier begeht man sonst einen ähnlichen Fehler wie bei den morphometrischen Berechnungen, bei denen oft Methoden zur Anwendung kommen, deren Feinheit gar nicht im Einklange steht mit der Ungenauigkeit der Zahlen, die zur Rechnung benutzt werden. Der Verfasser hat die Forel-Ulesche Skala versuchsweise auf die halbe Zahl der Farben verkürzt. Es ist ja richtig, daß sich dadurch große Sprünge zeigen, aber in den meisten Fällen dürfte die Reihe doch ausreichen.

In allen Fällen, wo der Verfasser die Skala benutzte, hat sie ihm vollständig genügt. Versuche mit Laien haben ihm außerdem die Überzeugung gegeben, daß sie auch zu objektiven Resultaten führt. Aber es ist dabei auch zu beachten, daß wirklich die Eigenfarbe des Wassers ermittelt wird. Das ist nicht so leicht, wie es scheint, es erfordert ein sorgfältiges Prüfen und eine gewisse praktische Übung. Forel hat seinerzeit die Benutzung der Skala sehr richtig angegeben, indem er empfahl, das Wasser durch ein Rohr. z. B. das Klosettrohr auf Dampfschiffen, zu betrachten, nur so erhält man ein richtiges und zuverlässiges Bild von der Wasserfarbe. Von dem Boote aus ist diese weit schwerer zu ermitteln, da hier bei Sonnenschein immer diffuses und reflektiertes Licht störend auftritt. Erst wenn man die Wasserfarbe kennt, ist man im stande, diese

Digitized by Google

Störungen gewissermaßen zu eliminieren. Man kann sich dann auch in der Weise helfen, daß man durch ein innen geschwärztes Rohr auf das Wasser blickt.

Auf mangelnder praktischer Erfahrung beruht auch meist das Laienurteil, daß die Farbe eines Sees überhaupt nicht beständig sei. Man kann aber leicht jedermann von dem thatsächlichen Vorhandensein einer ganz bestimmten Eigenfarbe des Wassers überzeugen, wenn man ihm diese in der Weise, wie es wissenschaftlich gefordert werden muß, zeigt. Solche Laien sind auch gewöhnlich schnell mit der Kritik der Forelschen Methode fertig; wenn sie aber diese gewissenhaft nach der Vorschrift befolgen, kommen sie doch zu der Erkenntnis, daß sie durchaus richtige Ergebnisse liefern kann. Der Verfasser hat wiederholt Laien veranlaßt, Farbenbestimmungen auszuführen, die Resultate waren seinen eigenen meist gleich oder standen ihnen wenigstens sehr nahe.

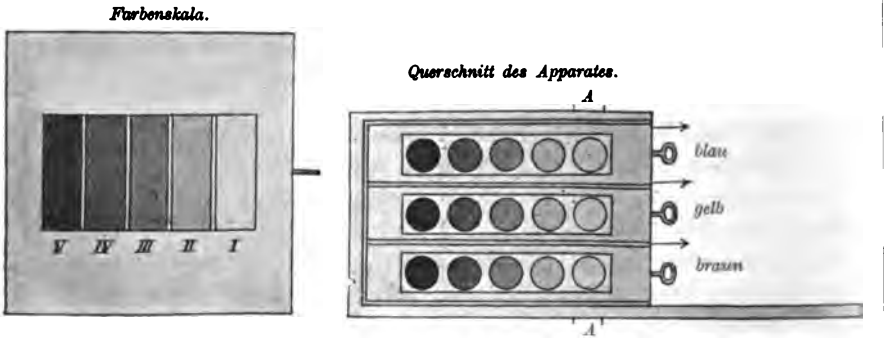
Für vollkommen falsch halten wir die Bestimmung der Wasserfarbe durch Einlassen einer weißen Scheibe. Dabei erhält man keineswegs immer die wirkliche Wasserfarbe, sondern die Farbe, unter welcher das Weiß der Scheibe im Wasser erscheint. Lorenz von Liburnau hat ja nachgewiesen, daß selbst in reinem blauem Wasser die weiße Scheibe zunächst im grünlichen Lichte erscheint. Auch eine Abschätzung der Farbe nach dem Aussehen der flacheren Stellen, wo der Grund durchschimmert, ist aus demselben Grunde unzulässig. Man braucht nur den Barersee bei Garmisch am Fuße der Zugspitze zu besuchen, um sich davon zu überzeugen. Hier beobachtet man einen fortwährenden Wechsel an Farben, je nach der Tiefe des Wassers. Nur dort, wo von dem Grunde des Sees nichts mehr zu sehen ist, darf die Farbenbestimmung vorgenommen werden.

An solchen Stellen erscheint das Wasser in einzelnen Seen geradezu schwarz. Man hat darum auch vorgeschlagen, die vorhandene Skala um einige zum Schwarz hinüberführende Farben zu ergänzen. Es mag der Vorschlag eine gewisse Berechtigung haben. Allein bevor man ihm Folge leistet, sollte man erst genau die Wasserfarbe prüfen. Man wird nicht selten — ich glaube sogar in allen Fällen — bemerken, daß das Wasser nicht schwarz, sondern braunblau ist. Der Verfasser hat in dem Schaalsee bei Ratzeburg zum erstenmale einen solchen „schwarzen“ See vor sich gehabt. Bei genauer Prüfung ergab sich hier aber zweifellos eine braunblaue Färbung, die etwa Nr. 19 bis 20 der Skala entsprach. Seitdem hat er mehrere „schwarze“ Seen beobachtet, sie hatten sämtlich braunes und nicht schwarzes Wasser.[3]

Digitized by Google

Daß die vorhandene Skala nicht verbesserungsfähig wäre, wollen wir mit unseren obigen Ausführungen nicht gesagt haben. Gewiß haften ihr manche Mängel an.

Einen Mangel erblicken wir unter anderem darin, daß die farbigen Flüssigkeiten nicht absolut beständig sind. In den luftdicht zugeschmolzenen Glasröhrchen halten sie sich zwar sehr lange, aber nach Jahren tritt auch da eine kleine Farbenveränderung ein. Um vollkommen sicher zu verfahren, sollte man die Skala von Zeit zu Zeit neu herstellen. Vor allem aber müssen die Glasröhrchen fest zugeschmolzen werden, sonst tritt eine Zersetzung sehr schnell ein. Vor kurzem hat in den Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie der Marinearzt Dr. A. Krämer das rasche Zersetzen der Flüssigkeiten ebenfalls als einen Mangel der Forelschen Skala bezeichnet; wir vermuten, daß Krämer sich keiner fest verschlossenen



Apparat zur Bestimmung der Wasserfarbe.

Röhrchen bedient hat.[4] Das Ammoniak, das die Lösung klar hält, verdunstet dann und es tritt eine Trübung ein.

Da die gegen die Forelsche Skala erhobenen Einwände immerhin etwas berechtigt erscheinen, hat sich der Verfasser eingehend mit der Herstellung neuer Skalen beschäftigt. Es mußte sich dabei zunächst darum handeln, gleiche Farben von verschiedener Intensität in die Skala einzufügen. Dies hat der Verfasser einmal in folgender Weise erreicht. Statt der Mischung von Gelb und Blau in einem Glasrohr, suchte er die grünen und braunen Farbentöne durch Übereinanderlegen der Röhrchen mit farbiger Flüssigkeit zu schaffen. Die Abstufungen wurden hergestellt, indem die Röhrchen mit Lösungen verschiedener Stärke übereinander gelegt wurden. Dadurch bekommt man auch die in der Forelschen Skala vermißten Abstufungen. Um annähernd die gleichen Farben zu erhalten, wie sie in der Forel-Uleschen Skala vorhanden sind, waren von jeder Farbe 5 Abstufungen

Digitized by Google

erforderlich. In Prozenten der Normalflüssigkeiten reihten diese Verdünnungen sich in folgender Weise aneinander:

	V	IV	III	II	I
blau	100	80	60	40	20 %
gelb	100	60	30	10	2,5 %
braun	100	60	30	10	2,5 %

Die Röhrchen wurden in Rahmen, von denen einer nebenstehend abgebildet ist, eingeschlossen und dann zusammen in einen nach einer Seite hin offenen Kasten, wie das zweite Bild zeigt, eingefügt, in dem sie untereinander in der Richtung der Pfeile verschoben werden können. Der Kasten bekommt oben und unten einen Ausschnitt (A), etwa in der Breite der Glasröhrchen, sodaß man diese deutlich und unbeeinflußt von jedem Nebenlicht sieht. Durch Untereinanderschieben der Röhrchen erhält man dann jede Farbe zwischen Blau und Braun auch in verschiedener Stärke.

Die Vorrichtung gründet sich auf die Konstruktion des Tintometer von J. W. Lovibon, das zu industriellen Zwecken erfunden wurde.

Dieser neue Apparat hat sich bei seiner Prüfung gut bewährt. Es wurden gefunden:

	Würmsee	Schliersee	Königsee	Achensee	Walchensee
blau	II	III	IV	II	II
gelb	III	III	III	I	II
Forelsche Skala	$^{10}/_{12}$	$^{9}/_{10}$	$^{5}/_{6}$	$^{3}/_{4}$	8.

Man bekommt aus den obigen Werten sofort ein Bild von der Art wie von der Stärke der Farbe. Der Würmsee ist nach dem starken Anteil von gelb entschieden grün, der Schliersee etwas blauer, da das Blau intensiver ist. Der Achensee und Königsee stehen sich sehr nahe, das Wasser des Königsees erscheint aber dunkler und etwas weniger blau. Der Walchensee hat wieder eine etwas blauere Farbe als der Würmsee, da das Gelb weniger hervortritt.

Unsere Zahlen zeigen, daß diese Skala darum schon viel für sich hat, weil sie nicht nur die Farbe wiedergiebt, sondern diese auch in gewissem Sinne veranschaulicht, indem sie uns den Grad des Gelb und Blau in den einzelnen Farben anzeigt.

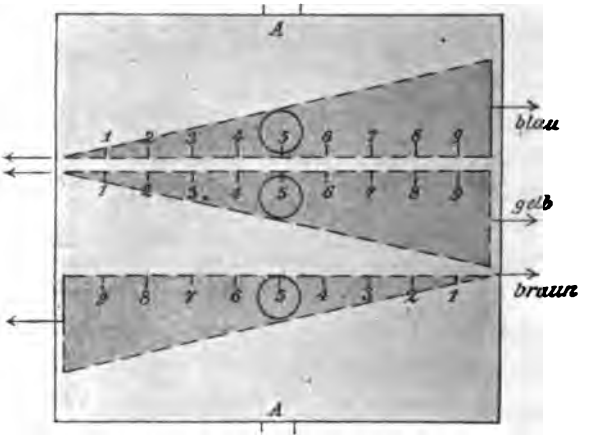
Bedeutete zwar diese Skala schon einen Fortschritt, so erschien sie uns doch noch nicht ganz die Mängel der Forelschen Skala zu heben. Auch bei ihr folgen die Abstufungen in mehr oder weniger scharfen Absätzen aufeinander.

Der Verfasser hat auch diesen Mangel zu beseitigen versucht und einen Farbenmesser zu bauen sich bemüht, der die Farben

Digitized by Google

allmählich ineinander überzuführen gestattet und zugleich eine große Mannigfaltigkeit der Farben nach Art und Stärke bietet. Wir haben ihn beistehend in schematischer Zeichnung abgebildet.

Die allmähliche Abstufung ist in folgender Weise hergestellt worden: Die Flüssigkeiten wurden in konisch geformte Gefäße eingeschlossen. Die beiden zueinander geneigten Glaswände sind auf eine Länge von 10 cm bis zu 2 cm von einander entfernt. Es waren also Abstufungen von einer ziemlich intensiven Farbe bis zum fast völligen Verschwinden derselben vorhanden. Die Gefäße wurden übereinander in einen nach beiden Seiten offenen Kasten (s. Abbild.) eingefügt. In die obere und untere Kastenseite wurden Querschnitte (A) gemacht,



Apparat zur Bestimmung der Wasserfarbe.

sodaß man etwa einen 0,5 cm breiten Streifen der Farben sehen kann. Die Gefäße sind mit Einteilungen versehen und lassen sich nach diesen in verschiedenen Intensitäten unter den Ausschnitt einstellen, indem sie in der Richtung der Pfeile verschoben werden. Sie zeigen 10 Teilstriche. Infolge eines Versehens sind in der Abbildung fälschlich nur 9 Teile angegeben. Um die Farbe des Würmsee zu erhalten, müßten wir etwa einstellen: blau 4, gelb 6 und braun 1. Es leuchtet ein, daß wir dieselbe Farbe bekommen, aber in dunklerem Tone, wenn wir blau 6, gelb 9 und braun $1^1/_2$ einstellen.

Als Färbeflüssigkeiten wurden Methylenblau, Kaliumchromat und Kaliumdichromat angewendet. Die ammoniakalische Kupfervitriollösung war nicht benutzbar, weil das Ammoniak die Metallteile der

Digitized by Google

Gefäße angreifen würde. Die Lösungen wurden in folgender Stärke verwendet:

Blau	0,005 gr	in	100	ccm	Wasser
Gelb	0,25 gr	„	100	„	„
Braun	5,0 gr	„	100	„	„

Die Färbeflüssigkeiten sind leicht herzustellen und durchaus beständig.

Der Vorteil dieses neuen Farbenmessers liegt vor allem darin, daß man durch Verschieben der Gefäße die Farben ganz allmählich ineinander übergehen lassen kann. Das ist ein großer Vorzug, der die praktische Bestimmung wesentlich erleichtert. Freilich ist seine Herstellung auch mit größeren Kosten verbunden, was für seine allgemeine Einführung hinderlich sein dürfte. Gleichwohl haben wir ihn hier ausführlich dargestellt, um die Fachleute zur Prüfung des Apparates zu veranlassen. Bei der Fülle der Farben dürfte er auch für die ozeanischen Untersuchungen ausreichen.

Wasserfarbe des Würmsees.

Im Würmsee haben wir die Wasserfarbe nach der Forelschen Methode bestimmt. Die Ergebnisse sind gleichzeitig mit denen der Durchsichtigkeitsbestimmung in der umstehenden Tabelle mitgeteilt.

Die Farbe schwankt zwischen 8 der Forelschen und 12 der Uleschen Skala. Ein einziges Mal wurde auch der Wert 13, aber nicht vom Verfasser, sondern von einem Laien ermittelt.

Die Farbe des Sees liegt demnach auf dem Grenzgebiete der beiden Skalen. Es ist dem Blaugrün bereits ein brauner Ton beigemischt. Diese Farbenmischung bietet ein besonderes Interesse deshalb, weil der See auch seiner Lage und Entstehung nach gleichsam ein Übergangsgebilde ist; er gehört in vielen Beziehungen durchaus zu den Alpenseen und ist doch auch ganz ein See der Ebene oder des Hügellandes.

Wenn wir die Reihe der gewonnenen Zahlen überblicken, bemerken wir sofort, daß das Wasser in den Sommermonaten entschieden braungrüner erscheint als im Herbst und Frühjahre und vermutlich im Winter, wo etwas blauere Farben sich zeigen. Der Wert 8 ist nur am 16. März und am 7. Mai 1894 gefunden worden. Die Werte 8/9 und 9 fallen im allgemeinen auf Juni, September und Oktober, 10—12 dagegen fast nur auf Juni und August.

An 2 Tagen wurden die Farbenbestimmungen mit ganz besonderer Sorgfalt ausgeführt. In dem Notizbuche findet sich neben dem

Digitized by Google

Farbe und Durchsichtigkeit des Wassers.

Datum				Farbe nach der Forel-Ule'schen Skala.	Durchsichtigkeit. Verschwinden der weissen Scheiben in m Tiefe	Oberflächentemperatur	Witterung				Lage der Sprungschicht m
							bei der Beobachtung			vor der Beobachtung	
Jahr	Monat	Tag	Stunde				Bew.	Wind	allgemein		
1893	Sept.	21	2 pm	9	5,00	17,3	8	2	Sonnenschein		10,0—15,0
		23	9 am	8/9	4,70	16,8	8	0		Die Tage zuvor viel Regen und Wind	10,0—15,0
1894	März	16	12 mt	8	13,50	3,4	9	2		Tags vorher Schnee.	
	Mai	7	4 pm	8	6,75	9,1	9	0	Regenwolken	Tags vorher Sonne am 5. Schnee.	
	August	11	6 pm	9	. . . . .	19,0	9	4			9,0—15,0
		15	10 am	10/12	3,40	18,1	0	0			12,5—18,0
		15	6 pm	12	3,50	19,6	1	0	Sonnenschein		10,0—18,0
		16	9 am	10/12	3,90	18,0	8	2			10,0—17,0
		18	9 am	. . . .	3,50	17,3	10	2		Tags vorher viel Regen	9,0—15,5
		19	9 am	. . . .	3,50	16,9	10	2	Etwas Regen	Tags vorher Regen	9,5—15,0
		20	9 am	. . . .	3,60	16,7	9	2	Sonnenschein	Tags vorher Regen und Hagel	11,5—15,5
		22	6 pm	10/12	. . . . .	16,8	2	0	Sonnenschein	Tags vorher und am selben Tage Wind	10,0—16,0
		23	9 am	12	3,90	16,8	1	0	Cirruswolken		12,0—17,5
		25	6 am	12	4,20	18,4	1	2	Sonnenschein	Gewitter	12,5—16,0
		27	8 am	10/12	. . . . .	20,0	1	2	Sonnenschein	Tags vorher sehr warm	14,0—17,0
		28	7 am	10/12	3,75	20,1	3	0		Tags vorher starker Wind	10,5—15,5
		28	1 pm	. . . .	3,80	21,4	1	0	Sonnenschein		10,0—12,5
		29	7 am	. . . .	3,50	20,7	2	2	Zeitw. Sonnenschein		10,0—15,0
		31	7 am	9	3,50	19,4	Nebel	2		Tags vorher Wind	10,0—15,5
	Sept.	26	10 am	10/12	4,85	15,1	8	2	Sonnenschein		12,5—17,0
	Oktober	9	11 am	9	5,90	12,9	9	2			14,0—17,5
1895	Juni	1	. . .	9	6,40	16,6	3	0	Sonnenschein		2,0— 8,0
		4	. . .	12	. . . . .	16,9	1	0	Sonnenschein	Tags vorher Gewitter	2,0— 5,0
		5	7 am	10/12	6,50	16,8	4	0	Sonnenschein	Abends vorher Gewitter und Wind	4,5— 7,0
		6	8 am	10/12	6,65	17,0	9	0	Sonnenschein		7,0—10,0
	August	13	9 am	10	3,80	18,9	1	2	Sonnenschein	Tags vorher viel Regen	7,5—18,5
		20	9 am	9/10	4,10	18,6	3	0	Sonnenschein	Tags vorher warm	7,5—19,0
		31	10 am	10	4,00	20,0	1	0	Sonnenschein	Tags vorher schönes Wetter	10,0—15,0
	Sept.	8	8 am	9/10	4,10	21,8	0	2		Tags vorher windstill, heiss	7,0—14,5
		16	11 am	10/12	4,10	18,0	3	2		Tags vorher regnerisch und kaltes Wetter	10,5—15,0
	Oktober	8	. . .	9/10	3,7—4,0	14,8	4	2	Sonnenschein		13,0—19,5
1896	Juni	10	10 am	10	6,00	15,2	2	0	Sonnenschein		5,0—10,0
		20	10 am	9	5,40	19,1	5	2	Sonnenschein	2 Tage vorher Regen	3,0— 8,5
	August	3	11 am	. . . . .	3,00	19,9	5	0		Tags vorher viel Regen	5,5—10,0
	Sept.	5	10 am	. . . . .	4,70	15,7	3	2	Sonnenschein.		
		10	9 am	. . . . .	4,7—5,3	17,4	3—5	0	Sonnenschein	Tags vorher warm.	
1897	August	21	11 am	. . . . .	3,70	20,1	6	0—2	Sonnenschein	Tags vorher Regen	7,0—12,0
1900	Juli	24	4 pm	. . . . .	3,10	23,9	5	2	Sonnenschein		7,5 . 12,0
1901	Januar	9	12 am	. . . . .	14,00	4,8	0	4	Sonnenschein	Sehr kalte Witterung.	

Digitized by Google

Ergebnisse an dem betreffenden Tage die Bemerkung „zweifellos", sodaß wir diese Abschätzungen für durchaus zuverlässig ansehen dürfen. Die eine erfolgte am 23. August 1894 und ergab den Wert 12 der braungrünen Skala, die andere am 9. Oktober 1894 den Wert 9 der Forelschen Skala. Beide Bestimmungen bestätigen also das allgemeine Ergebnis.

Daß thatsächlich auch ein brauner Ton in der Wasserfarbe vorhanden ist, ergab sich bei der Abschätzung mit der zweiten neuen Skala, die am 9. Januar 1901 ausgeführt wurde. Es fand sich die Zusammenstellung: blau 5, gelb 3, braun 3, eine Farbe, die etwa zwischen 8 und 9 der alten Skala liegt. Hierbei ist allerdings zu beachten, daß das in dem neuen Farbenmesser verwendete Braun mit dem der früheren Skala nicht übereinstimmt, sondern heller und gelblicher ist.

Um diese Farbenerscheinungen im See zu erklären, müssen wir auf den Ursprung der Wasserfarbe selbst näher eingehen. Der Gegenstand ist in der letzten Zeit wiederholt im Kreise der Fachmänner erörtert worden. Am eingehendsten hat sich wohl der Physiker Spring mit der Frage beschäftigt. Er hat auf experimentellem Wege das Problem zu lösen versucht. Nach seinen Ausführungen, die H. v. Hasenkamp in den Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie in einem Aufsatz über die Farbe der natürlichen Gewässer wiedergegeben hat[5], bildet Wasser, das eine genügende Menge farbloser Teilchen von solcher Feinheit enthält, daß sie sich auch in der Ruhe kaum absetzen, ein trübes Medium von besonderer Art, das dem Durchgang der weniger brechbaren Strahlen einen geringen Widerstand bietet, während es die brechbareren Strahlen reflektiert und teilweise auslöscht. Eine weiße Lichtquelle durch dieses Medium betrachtet erscheint als ein mehr oder weniger orange gefärbtes Gelb, während das reflektierte Licht bläulich ist.

„Enthält nun ein Gewässer", so führt hiernach von Hasenkamp aus, „solche Teile suspendiert, so wird es um so mehr grün, ja selbst gelblich erscheinen, je größer die Menge der Trübung ist; das durchgelassene Licht wird aus dem dem Wasser eigentümlichen Blau und dem Orangegelb der Trübung zusammengesetzt sein. Eine Menge der verschiedensten Nuancen sind so möglich vom Blau bis zum mehr oder minder dunkeln Braun durch alle Schattierungen des Grün hindurch." Das durch die Reflexion an den Teilchen entstandene Blau wird sich zu dem Blau des Wassers gesellen, aber niemals so intensiv sein, daß es das Orangegelb kompensieren könnte.

Weitere Untersuchungen führten dann zu dem wichtigen Schluß, daß auch gesättigte Lösungen, in denen sich ein Niederschlag

Digitized by Google

erst zu bilden beginnt, dem Durchgange der brechbaren Strahlen Widerstand entgegensetzen, also die gleiche Wirkung hervorrufen. Es liegt hier ein sogenannter „nascenter" Niederschlag vor. Wenn ein solcher nascenter Niederschlag im Wasser enthalten ist, wird das hindurchgegangene Licht ebenfalls mehr oder weniger dunkelgelb erscheinen. In Verbindung mit der blauen Farbe des Wassers werden sich wieder die verschiedenen Nuancen des Grün bilden je nach der Menge des Gelb. Überwiegt dieses sehr stark, so kann das Wasser sogar gelbbraun oder noch dunkler sein.

Gegen diese auf sorgfältig ausgeführten und einwurfsfreien Experimenten begründete Erklärung der Farbe des Wassers wird man kaum etwas einzuwenden haben. Zweifellos befinden sich die meisten natürlichen Gewässer in dem Zustande, den Spring voraussetzt, damit eine Grünfärbung eintritt. Die Springsche Erklärung trifft darum sicher in vielen Fällen auch zu. Wir werden sie anwenden können auf alle Seen, die von blauem Quellwasser oder Quellbächen gespeist werden, also namentlich auf alle Gebirgsseen, soweit diese nicht in weiten sumpferfüllten Thälern oder auf moorbedeckten Hochflächen liegen. Freilich muß für diese Seen ein gewisser Dauerzustand hinsichtlich der Beimengung suspendierter Teilchen oder des Vorhandenseins eines nascenten Niederschlages angenommen werden; denn sonst wäre die Konstanz der Farben nicht verständlich. Bei großen Änderungen der physikalischen und auch chemischen Verhältnisse müßten auch merkliche Änderungen der Farben eintreten, das ist im allgemeinen nicht der Fall. Soweit der Verfasser unterrichtet ist, haben die Seen meist eine sich immer gleichbleibende Färbung, die nur in geringem Maße wechselt. In ein und demselben See herrscht annähernd immer die gleiche Farbe. Das von Hasenkamp wohl nach Spring angeführte Beispiel verschiedener Färbung des Wassers im Achensee beruht nach unserer Kenntnis auf einer irrtümlichen Beobachtung. Der Achensee hat die Farbe 3/4 der Forelschen Skala, ist also blaugrün. Diese Farbe dürfte am nördlichen Ufer etwas verändert, nach Spring chromgrün, erscheinen, weil der See dort flach ist und der Untergrund durchleuchtet. Daß hier eine stärkere Beimengung von unsichtbaren Kalkteilchen vorhanden wäre, möchten wir schon darum bezweifeln, weil diese dann auch an anderen Stellen infolge von Strömungen und Bewegungen durch Wind zeitweise auftreten müßte. Das ist jedoch bisher nicht beobachtet.

Daß in den meisten Seen eine gewisse Konstanz der Trübung im Springschen Sinne besteht, ist allerdings denkbar, weil die örtlichen Verhältnisse im allgemeinen die gleichen bleiben und die Schwankungen der Speisung im Verhältnisse zu der großen Wassermasse der

Digitized by Google

Seen belanglos sind; die Beständigkeit der chemischen Beschaffenheit und der mechanischen Beimischung kleinster Teilchen müßte aber doch noch durch genauere Untersuchungen bewiesen werden, ehe die Springsche Theorie, die auf experimentellen Untersuchungen im Laboratorium begründet ist, allgemein auf die natürlichen Gewässer angewendet werden kann.

Wenn sie für viele Gebirgsseen gilt, so können wir aus ihr zugleich auch eine Bestätigung der Zulänglichkeit der Forelschen Skala entnehmen. Forel verwendet jene beiden Farben, aus deren Mischung nach Spring die Wasserfarbe in den Seen entsteht, blau und gelb; eine solche Skala muß doch in einem gewissen Grade in Übereinstimmung mit den grünen Farben der Gewässer zu bringen sein.

Nun nimmt Spring allerdings weiter auch an, daß das Wasser unter der Einwirkung der kleinsten Teilchen des nascenten Niederschlages auch gelbbraun und dunkler erscheinen könne, es seien die verschiedensten Nuancen vom Blau bis zum mehr oder minder dunklen Braun durch alle Schattierungen des Grün hindurch möglich. Seine Theorie könnte demnach auch die vielfach beobachteten braungrünen und dunkelbraunen fast schwarzen Wasser der Binnenseen erklären. Hierin vermögen wir ihm nicht ohne weiteres zuzustimmen; Spring selbst steht auch gar nicht auf dem Standpunkte, daß seine Erklärung der Farbe des Wassers die allein und ausschließlich richtige sei.

Unsere Bedenken gegen eine solche Ausdehnung der Springschen Theorie stützen sich auf eine geographische Thatsache. Seen, die nach Lage, Entstehung und Speisung gleichartig sind, besitzen meist eine sehr ähnliche Wasserfarbe, während Seen geographisch verschiedener Länder auch sehr verschiedene Färbungen aufweisen. So haben die eigentlichen Alpenseen blaugrünes, die voralpinen Seen mehr grünes bis braungrünes, die norddeutschen Flachlandseen dagegen braungrünes bis braunes Wasser. Es ist nicht anzunehmen, daß diese Seen in ihrer chemischen und physikalischen Beschaffenheit so verschieden sind, daß man dadurch die Farbenänderungen erklären könnte. Wohl aber geben uns die allgemeinen geographischen Verhältnisse Aufschluß hierüber. Die alpinen Seen werden vorwiegend von Felsenquellen oder von Bächen, die Felsenquellen entstammen, gespeist, erhalten also Wasser, das im allgemeinen ziemlich frei von organischen Beimengungen ist. Die Seen des baltischen Höhenrückens bekommen dagegen ihren Zufluß durch Sickerwasser oder durch Bäche, die aus Grundwasser hervorgehen. Dieses Wasser ist meist reich an organischen Bestandteilen, namentlich wenn es Moore durchsickert. Das Moorwasser erscheint überall braun, alle Seen,

Digitized by Google

denen Moorwasser zufließt, haben darum auch eine braungrüne bis braune Färbung. In dieser geographischen Thatsache liegt für uns der Beweis, daß neben den rein physikalischen Verhältnissen, die Spring anführt, auch noch die organischen Beimengungen auf die Wasserfarbe einwirken. Die Beimengung organischer Substanz bedingt nicht allein die Färbung, wohl aber ist sie imstande, diese abzuändern und namentlich braungrüne und braune Töne hervorzurufen. In dieser Weise möchten wir die von Wittstein zuerst ausgesprochene und später auch von Forel angenommene Theorie über die Ursache der Wasserfarben modifizieren.

Die braune Färbung der Moorwasser entsteht durch die Lösung organischer Substanzen, von Humuskörpern, die wir in Mooren und überhaupt in jedem mit Pflanzenresten versehenen Boden finden. Die Humuskörper bilden sich bei der Zersetzung der Pflanzen. Nach A. Thiem ist das Wasser des Würmsees auch ziemlich reich an organischer Substanz, es enthält davon 117 mgr in einem Liter. Die Summe der Gesamtrückstände beträgt nur 216 mgr.[6] Die Resultate einer neueren genauen Analyse von A. Schwager, die uns erst während des Druckes zuging, haben wir im Anhang (S. 198) mitgeteilt.

An der Färbung der Gewässer sind oft auch Eisensalze beteiligt. Es setzt sich fast in allen Mooren Rasenerz ab, ein Beweis, daß der Boden Eisen enthält, das durch die Moorwasser, die sicher ebenfalls eisenhaltig sind, auch den Seen zugeführt wird, im Würmsee jedoch in so geringen Mengen, daß es für die Färbung belanglos bleibt.

Man hat die grüne oder braungrüne Färbung auch auf die unmittelbare Wirkung organischer Beimengungen zurückführen wollen; allein dagegen spricht wieder die große Gleichmäßigkeit der Farbe in einem See und die offenbare Abhängigkeit dieser von den allgemeinen geographischen Verhältnissen. Selbst zur Zeit des sogenannten Seeblühens, wo das Wasser dicht mit kleinen grünen Algen angefüllt ist, verändert sich die Farbe kaum.

Der Würmsee gehört nach diesen Ausführungen zu den Seen, deren Wasser bereits reichlich mit gelösten organischen Substanzen versehen ist; denn dieses hat eine braungrüne Färbung, vermutlich weil seine Zuflüsse zu einem großen Teile Mooren entstammen. Die kleinen Seen in der Umgebung haben ebenfalls braunes, fast schwarzes Wasser und auch verschiedene Zuflüsse führen Wasser dieser Färbung.

Aber es scheint, als ob diese Speisung aus den Mooren im Sommer sich erheblich steigere; denn nach unseren Beobachtungen verschwindet die braungrüne Färbung im Herbst und Frühjahr und vermutlich auch im Winter. Die Grundfarbe des Sees würde dann die blaugrüne sein, also Nr. 8 und 9 der Forelschen Skala. Nur

Digitized by Google

ist Nr. 9 jedoch auch in den Sommermonaten mehrfach beobachtet. Demnach muß der mehr braungrüne Farbenton noch eine Folge anderer Einwirkungen sein, die sich vorwiegend im Sommer geltend machen.

Daß im Winter die Moorwasserspeisung ganz aufhören sollte, ist ausgeschlossen. Es wird somit auch die grüne winterliche Färbung etwas auf Kosten des Moorwassers zu setzen sein. Daß diese im Sommer sich erheblich vermehre, ist jedoch auch kaum anzunehmen; die Wirkung einer stärkeren Zufuhr müßte dann bis in den Herbst hinein bemerkbar bleiben.

Der jahreszeitliche Farbenwechsel muß also durch andere Faktoren hervorgerufen werden. Es liegt zunächst der Gedanke nahe, daß im Sommer die chemische Beschaffenheit und auch der Reichtum an jenen unsichtbaren Teilchen, welche nach Spring eine Grünfärbung bedingen, andere seien; doch liegen dafür keine Beweise vor. Auch rein theoretisch betrachtet, ist kein Grund zu finden, warum eine solche Änderung in erheblichem Grade eingetreten sein sollte, sodaß das Wasser eine andere Farbe bekommen konnte.

Verändert haben sich aber ganz bedeutend die thermischen Verhältnisse. Nun hat wieder Spring experimentell nachgewiesen, daß durch thermische Ausgleichsströmungen, sog. Konvektionsströme, das Wasser eine Trübung erfährt, die ähnlich der Trübung durch Beimengung suspendierter Teilchen oder durch einen nascenten Niederschlag wirkt. Stärkere Konvektionsströme treten aber nur im Sommer ein, sie sind sicher in den warmen Monaten am lebhaftesten. Diese Trübungen können nach Springs Theorie gewiß eine Farbenänderung bewirken; es wäre dadurch das Auftreten einer anderen Färbung im Sommer sehr einfach erklärt.

Gerade diese Erscheinung bedarf aber noch weiterer Klärung. Sie wird nur durch über ein ganzes Jahr ausgedehnte Beobachtungen gebracht werden können. Immerhin lehren unsere eigenen Beobachtungen, daß der Farbenton 8 oder 9 fast nur aufgetreten ist, wenn eine thermische Sprungschicht noch ganz fehlte, oder wenn diese kaum gebildet war, oder endlich wenn sie wenigstens den oberen Schichten fehlte; dagegen sind die Farben 10—12 vorwiegend wahrgenommen worden in Zeiten, wo eine ausgeprägte jährliche Sprungschicht und gleichzeitig womöglich die tägliche und periodische bestand, also lebhafte Ausgleichsströmungen sicher vorhanden waren.

Enge Beziehungen zur Durchsichtigkeit des Wassers machen sich nur insofern geltend, als im Frühjahre und Herbst bei der größeren Durchsichtigkeit die blaugrünen Farben beobachtet wurden. Aber es geht daraus nicht hervor, daß ein kausaler Zusammenhang

Digitized by Google

zwischen beiden besteht. Die größere oder geringere Durchsichtigkeit hat vermutlich mit der Wasserfarbe nicht viel zu thun, sonst müßten zweifellos die Unterschiede in der Farbe zwischen Sommer und Winter größere sein. Auch die Beobachtungen am Achensee und Walchensee lehren das. Beide Seen haben sehr klares Wasser, im Achensee haben wir aber fast blaues — 3/4 der Forelschen Skala —, im Walchensee entschieden grünes Wasser — 8 der Forelschen Skala.

Noch zu erwägen wäre die Frage, ob nicht die organischen Beimengungen des Wassers die jahreszeitliche Änderung der Wasserfarbe bedingen könnten. Allein da die Menge der organischen Wesen im Wasser, zum Beispiel das Plankton, sehr wechselt, so wäre eine häufigere Verschiedenheit der Farbe zu erwarten. Thatsächlich bleibt aber die Farbe sehr beständig.

Beziehungen der Farbe zur jeweiligen Witterung lassen sich kaum feststellen. Im allgemeinen fallen die Beobachtungen der Farbe 10—12 auf heitere Tage, denen Regen voraufgegangen ist. Regen bewirkt aber, wie vielfach beobachtet worden ist, eine Trübung, die vielleicht ebenfalls auf Konvektionsströme zurückzuführen sind, die durch den Regen hervorgerufen wurden, Strömungen, die bei dem herrschenden Sonnenschein noch gesteigert worden sind. Beide Vorgänge könnten dann nach der Springschen Theorie sich wohl in einer kleinen Veränderung der Farbe geltend machen.

Nach unseren Ausführungen ist demnach die Farbe des Wassers in Binnenseen nur eine Abänderung des ursprünglichen Blau, bewirkt durch die Beimengung feinster suspendierter Teilchen (Spring), durch Zuführung von organischen Lösungen (Wittstein) und durch thermische Strömungen (Spring).

Litteratur.

[1] W. Ule, Die Bestimmung der Wasserfarbe in den Seen. (Petermanns Mitteilungen, 1892.) — Ders., Beitrag zur Instrumentenkunde auf dem Gebiete der Seenforschung. (Peterm. Mitt. 1894.)

[2] W. Halbfass, Der Arendsee in der Altmark. (Mitt. d. Vereins f. Erdkunde zu Halle a. S.) 1896 und 97. — Lorenz v. Liburnau, Der Hallstättersee. (Mitt. d. k. k. Geogr. Ges. in Wien XLI) 1898.

[3] W. Ule, Beitrag zur physikal. Erforschung der baltischen Seen. S. a. a. O.

[4] A. Krämer, Aräometer-, Meeresfarbe- und Plankton-Untersuchungen im Atlant. und im Stillen Ozean. (Annal. f. Hydrogr. und marit. Meteorol. 1899.)

[5] H. v. Hasenkamp, Die Farbe der natürlichen Gewässer. (Annalen der Hydrographie und marit. Meteorologie) 1897.

[6] A. Thiem, Die Wasserversorgung der Stadt München. S. a. a. O.

Digitized by Google

Die Durchsichtigkeit.

Die Bestimmung der Durchsichtigkeit des Wassers erfolgte nach zwei verschiedenen Gesichtspunkten. Einmal wurde die sogenannte Sichtbarkeitsgrenze oder Sichttiefe ermittelt, d. h. also die Tiefe, in der ein in Wasser eingetauchter Gegenstand verschwindet, und sodann wurde die Grenze des Lichtes im Wasser überhaupt festgestellt.

Sichttiefe.

Die erste Bestimmung erfolgte mit der bekannten weißen Scheibe, für die sich der Name Secchische Scheibe eingebürgert hat. Bei den Messungen im Würmsee wurde eine runde Scheibe von 30 cm Durchmesser verwendet. Sie ist so konstruiert, daß sie auf das Lot des Lotapparates aufgesetzt werden kann. Dadurch wird erreicht, daß die Scheibe in horizontaler Lage senkrecht eintaucht. Es ist das für die Zuverlässigkeit der ganzen Beobachtung sicher von einer gewissen Bedeutung. Die Scheibe senkt sich sonst leicht geneigt und unter Schwankungen zur Tiefe, wodurch ihre Sichtbarkeit sich ändert. Überhaupt muß bei diesen Messungen ganz besonders darauf geachtet werden, daß keine störenden Verhältnisse obwalten. Der See darf nicht zu bewegt sein und außerdem darf kein reflektiertes Licht den Beobachter treffen. Letzteres kann man schon durch Vorhalten des Hutes beseitigen.

Hat man alle Vorsichtsmaßregeln getroffen, so ergeben die Bestimmungen der Sichtbarkeitsgrenze mit ein und derselben Scheibe durchaus zuverlässige Werte, die bei normalem Sehvermögen des Beobachters auch als ziemlich objektiv gelten können. Sie sind ebenso objektiv als etwa die mit Hilfe des Bunsenschen Photometers gewonnenen Werte für die Lichtstärke, die wissenschaftlich durchaus anerkannt sind. Die Vergleichbarkeit der Messungsergebnisse hört jedoch auf, wenn die Scheiben einen verschiedenen Durchmesser haben. Am Walchensee wurde mit einer Scheibe von 1 m Durchmesser am 24. Juli 1900 die Grenze in 14 m, mit einer solchen von 30 cm Durchmesser am 25. Juli in 10 m Tiefe gefunden. Das sind Unterschiede, die sich nicht aus einer Änderung der Durchsichtigkeit von Tag zu Tag erklären lassen. Eine Abhängigkeit der Sichttiefe von der Größe der Scheibe ist auch von Secchi bereits im Mittelmeere festgestellt worden.[1]

Ein neuer Versuch mit zwei verschieden großen Scheiben im Würmsee am 9. Jan. 1901 bestätigt diese Abhängigkeit. Eine Scheibe von 30 cm Durchmesser verschwand bei 14 m, eine zweite von 20 cm

Digitized by Google

bereits bei 12 m. Sollen demnach die an verschiedenen Seen gemachten Beobachtungen der Sichttiefe vergleichbare Werte liefern, so wird man in Zukunft die Größe der Scheibe für alle Untersuchungen einheitlich bestimmen müssen.

Die am Würmsee gewonnenen Resultate haben wir in der obigen Tabelle (S. 162) zusammengestellt. Die Zahlen lehren uns deutlich, daß das Wasser im Sommer eine sehr geringe Durchsichtigkeit zeigt. Im Juli liegt die Sichttiefe bei 3 m, im August bei 3,5 bis 4 m, im Vergleich zu den von Forel für den Genfersee gewonnenen Werten eine sehr flache Lage. Auch im September und Oktober reicht sie nur wenig tiefer. Dagegen finden wir sie im Mai und Juni erst bei etwa 6,5 m, also fast 3 m weiter von der Oberfläche. Ganz bedeutend scheint sie sich dann im Laufe des Winters zu senken. Im März 1894 verschwand die Scheibe erst in einer Tiefe von 13,5 m, im Januar 1901 in einer solchen von 14 m.

Eine Abhängigkeit von der jeweiligen Witterung war nicht bemerkbar. Nach Beobachtungen an anderen Seen ist ja auch festgestellt worden, daß der Zustand des Himmels sowie auch die Höhe der Sonne kaum von irgend welchem Einfluß ist. Diese Unabhängigkeit entspricht nach Krümmel einem für das menschliche Auge giltigem Gesetze, worauf schon Fr. Boas in seiner Arbeit „Beiträge zur Erkenntnis der Farbe des Wassers“ hingewiesen hat. Die photometrischen Messungen, so schreibt etwa Krümmel, haben ergeben, daß das menschliche Auge wie die anderen Sinnesorgane die Unterschiede zweier Reize nur dann empfindet, wenn das Verhältnis dieser Reizintensitäten ein nahe konstantes Maß überschreitet, das nach Helmholtz etwa $^1/_{138}$ bis $^1/_{150}$ der jedesmaligen Helligkeit beträgt. Größere Beobachtungsreihen zeigen, daß unser Auge für Helligkeitsunterschiede am empfindlichsten ist bei gewissen mittleren Graden der Lichtstärke, deren Grenzen etwa liegen zwischen der Helligkeit, bei der man ohne Schwierigkeit lesen kann, und der einer weissen Scheibe, welche voll vom Sonnenlicht getroffen wird. In diese Grenzen fällt nun auch die Beleuchtung der weißen Scheibe, mag die Sonne hoch oder tief stehen, der Bewölkungsgrad groß oder klein sein. Die Scheibe entschwindet unserem Auge, sobald der Unterschied der Helligkeit zwischen dieser und dem Wasser geringer wird als der obige annähernd konstante Bruchteil, sobald also für unser Auge die Scheibe genau dieselbe Farbe angenommen hat wie das umgebende Wasser. Dieser Helligkeitsunterschied ist aber unabhängig von den verschiedenen Abstufungen der Tagesbeleuchtung.[1]

Über die Ursache der verschiedenen Durchsichtigkeit des Wassers gehen die Meinungen weit auseinander. Es stehen sich heute nament-

Digitized by Google

lich zwei Ansichten gegenüber. Nach der einen liegt die Ursache in den thermischen Verhältnissen, nach der andern in der mechanischen Trübung des Wassers durch Staub und durch Organismen. Auf Grund unserer eigenen Wahrnehmungen sind wir zu der Überzeugung gelangt, daß, wie so oft, beide Ansichten zu recht bestehen, daß also sowohl die Erwärmung wie auch die mechanische Beimischung eine Veränderung der Durchsichtigkeit bewirken, nur scheinen uns doch die physikalischen Zustände in erster Linie die Änderungen zu verursachen.

Bei der Entscheidung der vorliegenden Frage müssen wir zunächst uns darüber klar werden, daß die Durchsichtigkeit des Wassers eines Sees sehr von lokalen Einflüssen abhängig sein kann. Diese lokalen Einflüsse müssen wir daher gleichsam aus der Betrachtung eliminieren. Dazu gehören starke Trübungen durch Zuflüsse oder durch Staubwehungen, ungewöhnlich großer Reichtum an Lebewesen und endlich geringe Flächengröße und Tiefe des Sees.

Derartige Einflüsse sind bei dem Würmsee nicht vorhanden; aus diesem Grunde dürfte er sich für unsere Betrachtungen besonders eignen.

Weiter haben wir genau zu ermitteln, welche Wahrnehmungen ganz sicher feststehen. Am besten bekannt sind wir mit den Temperaturverhältnissen der Seen. Über die Größe der Verunreinigung des Wassers durch Staub oder durch Organismen sind wir weit weniger gut unterrichtet. Die Behauptung, daß eine geringe Durchsichtigkeit durch die größere mechanische Trübung des Wassers verursacht sei, schwebt demnach solange noch in der Luft, als die Trübung nicht sicher nachgewiesen ist. Wir müssen uns davor hüten, allein einer glaubhaften Erklärung zuliebe etwas als thatsächlich anzunehmen, was doch nur Vermutung ist. Es scheint von vornherein so einleuchtend, daß die geringere Durchsichtigkeit des Wassers im Sommer auf diese Weise verursacht sei, daß man garnicht mehr zu prüfen wagt, ob die Trübung auch wirklich so bedeutend ist, als es die große Abnahme der Durchsichtigkeit des Wassers fordert.

Für die organischen Beimengungen ist eine solche periodische Zunahme, welche völlig der Änderung der Durchsichtigkeit entspräche, bisher nicht gefunden worden. Das Wasser zeigt zu allen Jahreszeiten einen häufig wechselnden Reichtum an Organismen. Dieser nimmt allerdings im allgemeinen vom Winter zum Sommer zu, aber doch nicht mit der Stetigkeit, wie die Durchsichtigkeit abnimmt. Überdies ändert sich der Gehalt an Organismen auch zeitweise, was größere Verschiedenheiten in der Lage der Sichttiefe bedingen müßte, wenn dieser die letztere wesentlich beeinflußte. Im Starnberger See bleibt die Lage dazu viel zu konstant und auch

Digitized by Google

die an anderen Orten gefundenen Zahlen zeigen nichts von solchen Schwankungen. Von Liburnau konnte ebenfalls eine deutliche Beziehung zwischen dem Gehalte an Lebewesen und der Durchsichtigkeit für den Hallstätter See nicht finden.[2] Neuere Untersuchungen von Seligo in den Stuhmer Seen Westpreußens lehren dasselbe. Es fehlt auch dort eine völlige Parallelität zwischen der Sichttiefe und der Menge organischer Substanzen.[3]

Auch die Verunreinigung des Wassers durch Staub sowie die durch sedimentreiche Zuflüsse bewirkte Trübung hat nur selten einen so stetigen Gang wie die Änderung der Sichttiefe ihn zeigt. Am Würmsee ist es sogar zweifelhaft, ob nicht im Winter die Menge dieser Verunreinigung die gleiche oder gar größere ist wie im Sommer; denn im Sommer ist der Boden überall dicht mit Vegetation bedeckt, während im Winter eine solche den Staub zurückhaltende Decke fehlt. Für dieses Wasserbecken ist es somit geradezu unzulässig, die sommerliche Verminderung der Durchsichtigkeit allein auf die größere Trübung des Wassers durch Staub zurückzuführen. Gleichwohl ist gerade hier die optische Trübung eine ganz bedeutende, was nicht der Fall sein dürfte, wenn die mechanische Trübung die alleinige Ursache davon wäre.

Gerade aus dieser Thatsache ergiebt sich unseres Erachtens die rechte Beurteilung der Verhältnisse. Es kann ja keinem Zweifel unterliegen, daß wirklich die Durchsichtigkeit in einem gewissen Grade durch die Verunreinigungen des Wassers beeinflußt wird, aber sie wird durch diese nicht allein bestimmt, sondern gewissermaßen nur modifiziert. Abnorme optische Verhältnisse werden durch sie erklärt werden können, aber auch nur dann, wenn die örtlichen Verhältnisse eine solche Schlußfolgerung zulassen. Wenn z. B. am 8. Oktober 1895 von uns das Verschwinden der Scheibe schon bei 3,7 m beobachtet wurde, so dürfte diese geringe Durchsichtigkeit allein auf augenblickliche Trübungen des Wassers zurückzuführen sein. Das Gleiche gilt von dem Ergebnisse am 3. August 1896, wo die Sichttiefe infolge starken Zuflusses von trübem Regenwasser auf 3 m sich erhoben hat.

Forel ist der Ansicht, daß der Beweis für die Trübung des Wassers durch die Staubteilchen sich aus der Thatsache ergebe, daß der Grad der äußeren Beleuchtung ohne Einfluß auf die Sichtbarkeitsgrenze sei.[4] Wirklich hält sich die letztere an ein und demselben Tage ungefähr in der gleichen Tiefe, gleichviel ob die Sonne im Zenith oder am Horizont steht, gleichviel ob die Sonnenstrahlen ungehindert das Wasser treffen oder ob die Beobachtung im Schatten einer Wolke ausgeführt wird. Diese Unabhängigkeit der Sichttiefe hat nach den obigen Ausführungen einen ganz anderen Grund; sie

Digitized by Google

ist in der Schwäche unseres Auges begründet, das nach einem allgemeinen psychophysischen Gesetze Unterschiede der Farben nur bis zu einem bestimmten Grade der Helligkeit zu erkennen vermag. Nur deshalb verschwindet für unser Auge die Scheibe in einer gewissen Tiefe, ganz unabhängig von der Intensität der Bestrahlung des Wassers.

Wenn wirklich die Staubteilchen allein die Undurchsichtigkeit des Wassers verursachten, dann müßte doch im Gegenteil, je nach der Intensität der Beleuchtung, die Scheibe an anderer Stelle unsichtbar werden. Forel vergleicht das Verschwinden mit dem eines Gegenstandes im Nebel; aber die Durchsichtigkeit des Nebels ändert sich doch nach der Beleuchtung. Der Nebel erscheint heller und lichter, wenn er intensiver beleuchtet wird. Unter der Mittagssonne sollte man demnach doch eine größere Durchsichtigkeit des Wassers erwarten als am Morgen oder abends, wenn der Staub die Sichttiefe bestimmte. Außerdem müßte die Trübung des Wassers durch den Staub doch sehr groß sein, wenn sie dieses schon auf 3—4 m undurchsichtig machen sollte. Solche Staubmengen müßten für das Auge deutlich sichtbar sein. Diese Anschauung über die Ursache der Wassertrübung beruht vielleicht etwas auf einer optischen Täuschung. Das weniger durchsichtige Wasser erscheint infolge der optischen Trübung wie von Nebel erfüllt.

Gerade aus der von Forel herangezogenen Thatsache dürfen wir somit wohl schließen, daß die Ursache der größeren oder geringeren Durchsichtigkeit vorwiegend durch die optischen Verhältnisse des Wassers selbst bewirkt wird, daß diese also von äußeren Zufälligkeiten, wie größere oder geringere Verunreinigung durch Staub und Organismen oder größere oder geringere Beleuchtung, nur wenig abhängig ist. Das Wasser muß gleichsam selbstleuchtend sein, ein diffuses Licht enthalten, dessen Helligkeit durch die jeweiligen physikalischen Verhältnisse des Wassers bestimmt wird.

In der That hat Spring experimentell den Nachweis dafür geliefert, daß sich das Wasser der Seen wie ein leuchtender Körper verhält. Selbst die anscheinend vollkommen klaren Gewässer sind nicht „optisch leer", sondern zeigen diffuses Licht.[5]

Ein solches Selbstleuchten setzt aber eine Trübung des Wassers voraus, die nun in dem klaren Wasser bisher nicht nachweisbar war. Spring suchte diesen dunkeln Punkt wiederum auf experimentellem Wege zu klären. Es gelang ihm der Nachweis, daß die theoretisch notwendige Trübung allein durch thermische Vorgänge bewirkt werden könne. Wasser, in dem thermische Konvektionsströmungen stattfinden, verhält sich ganz wie ein trübes Medium, es wird undurchsichtig. Damit ist aber unseres Erachtens der Schlüssel für die Änderung

Digitized by Google

der Durchsichtigkeit des Wassers in den Seen gegeben. Im Winter fehlen die Konvektionsströme fast ganz, infolgedessen haben wir eine große Klarheit des Wassers; im Sommer aber treten lebhafte Konvektionsströme ein, die eine bedeutende Verminderung der Durchsichtigkeit bewirken.

Ist diese Theorie richtig, so müssen auch zwischen den thermischen Verhältnissen und der Lage der Sichtbarkeitsgrenze bestimmte Beziehungen zu erkennen sein. Nach unseren Beobachtungen am Würmsee kann darüber kein Zweifel bestehen. Es erklärt sich z. B. die größere Durchsichtigkeit des Wassers im Mai und Juni einfach aus dem Fehlen einer stärker ausgebildeten Sprungschicht. Diese liegt außerdem so nahe der Oberfläche des Sees, daß sie noch keine bedeutende Trübung hervorzurufen vermag. Im September und Oktober bestehen aber noch tiefgehende thermische Ausgleichsbewegungen, weshalb in dieser Jahreszeit die Zunahme der Durchsichtigkeit noch sehr gering ist. Vielleicht sind die Beobachtungen vom 10. und 20. Juni 1896 auch beweiskräftig; die Durchsichtigkeit des Wassers hat sich in den 10 Tagen um mehr als einen halben Meter vermindert, gleichzeitig aber ist auch die Sprungschicht in viel stärkerem Maße zur Entwickelung gekommen.

Diese optische Trübung des Wassers wird nun sicher noch gefördert durch die mechanische, durch Staubteilchen und Organismen. Hier berühren sich die beiden Ansichten. Die thermischen Zustände bewirken eine Schichtung des Wassers und die Ausgleichströmungen eine wechselnde Anhäufung der Fremdkörperchen. Im Winter sinken sie schneller und rascher zur Tiefe als im Sommer, wo sie durch die lebhaftere Bewegung des Wassers länger schwebend erhalten werden. Aber die Größe des Staubgehaltes ist dann nicht allein die Ursache der verschiedenen Trübungen, sondern sie nimmt nur teil daran. Die Trübungen treten nach den Experimenten Springs auch ein, wenn gar kein Staub vorhanden ist.

Die Sichttiefe wurde auch im Schliersee, Achensee, Walchensee und Königsee bestimmt. Es ergaben sich folgende Werte (in m):

	5. X 1893	23. IX 1893	17. III 1894	21. VII 1900
Schliersee	2,5	3,0	5,0	4,0

	13. X 1893
Achensee	9,5

	22. VII 1900
Königsee	8,5

	16. IX 1893	25. VII 1900
Walchensee	11,4	9,6

Digitized by Google

Die Gebirgsseen zeichnen sich durchweg durch eine größere Klarheit aus. Sie sind auch die oberflächlich kälteren Seen. Schliersee und Würmsee haben bei starker oberflächlicher Erwärmung auch eine geringe Durchsichtigkeit. Es stützt auch das unsere Annahme, daß die Art der Erwärmung des Wassers die Klarheit wesentlich beeinflußt.

Auffallend ist in diesen Zahlen aber die große Sichttiefe im Walchensee, die jene im Würmsee um das dreifache übertrifft. Nach den Temperaturbeobachtungen stehen, wie die Tabellen auf S. 142 und 147 lehren, beide Seen thermisch sich außerordentlich nahe. Allein sie unterscheiden sich doch in den oberen Schichten auch wieder erheblich von einander. Hier zeigt der Würmsee sehr hohe Temperaturen, die jene im Walchensee um fast 4° übertreffen. Es scheint demnach, als ob gerade die thermischen Verhältnisse nahe der Oberfläche für die optische Trübung entscheidend sind. Dafür würden die Beobachtungen am Schliersee eine gewisse Bestätigung bringen; denn auch dieser ist oberflächlich warm und besitzt eine geringe Sichttiefe.

Grenze des Lichtes.

In zweiter Linie handelte es sich dann um die Bestimmung der wirklichen Lichtgrenze im Wasser. Hier sind unsere Arbeiten am Würmsee nicht über die rein methodischen Versuche hinausgekommen. Der Grund dafür ergiebt sich einfach aus dem Umstande, daß diese Bestimmungen überhaupt noch wenig ausgeführt sind und vor allem geeignete Instrumente dafür noch fehlen.

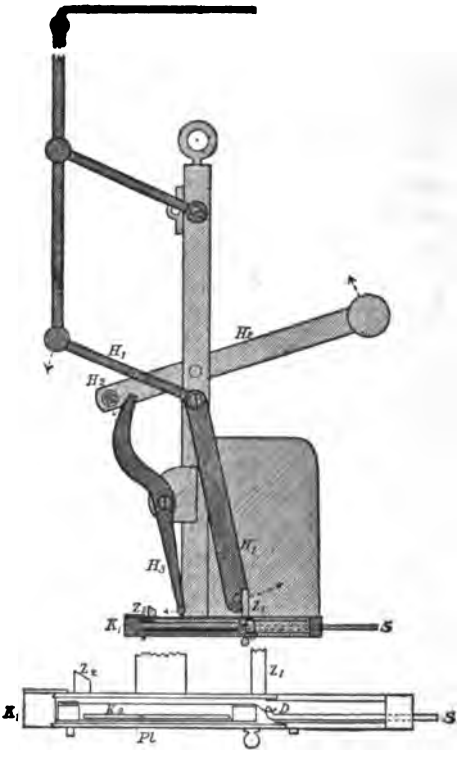
Die Ermittelung der wirklichen Lichtgrenze geschieht am besten auf photographischem Wege. Lichtempfindliche Platten werden auf irgend eine Weise vor dem Lichte geschützt in die Tiefe versenkt und dort einer etwa vorhandenen Lichtwirkung ausgesetzt, dann wieder unter völligem Lichtschutze heraufgeholt. Zeigen sie bei der Entwickelung auch nicht die geringste Spur von einer Lichtwirkung, so sind sie dauernd im Dunkel geblieben.

Nach dieser Methode bestimmte Forel im Genfer- und Bodensee die Lichtgrenze. Er bediente sich dabei folgenden Verfahrens: Etwa 10 in einem Bade von salpetersaurem Silber lichtempfindlich gemachte Albuminsalzpapierblätter wurden in besonders dazu hergestellten Rahmen ins Wasser versenkt; die Rahmen sind im Abstande von je 10 m an einer mit einem Gewichte beschwerten Lotleine befestigt; die Aussetzung der Papiere erfolgt während der Nacht, sie bleiben dann während des ganzen folgenden Tages dem etwa vorhandenen Lichte ausgesetzt und werden erst bei Nacht wieder heraufgeholt.[6]

Digitized by Google

Diese Methode ist außerordentlich einfach, aber es haften ihr doch einige erhebliche Mängel an. Sie ist z. B. nur anwendbar bei ruhigem Wetter, also auch ruhiger See, und bei genügender Dunkelheit in der Nacht. Weiter werden die Papiere leicht zerrissen und fortgespült.

Aus diesem Grunde schien es dem Verfasser ratsam, sich nach einem etwas zuverlässigeren Apparate umzusehen. Einen solchen



haben Chun-Petersen und Luksch für Untersuchungen in dem Mittelmeere konstruiert und mit Erfolg verwendet.[7] Leider ist jener Apparat doch so teuer, daß der Verfasser ihn nicht anzuschaffen vermochte. Es gelang ihm aber, selbst sich einen Apparat zu bauen, der für die Bestimmungen der Lichtgrenze in den Binnenseen vollkommen ausreichen und sicher auch gute Dienste leisten dürfte.

Der Apparat ist in seiner äußeren Konstruktion sehr einfach. An einer vertikalen eisernen Stange von etwa 20 cm Länge ist

Digitized by Google

unten horizontal eine Kassette (K_1) befestigt. Diese ist oben und unten vollkommen lichtdicht durch Schieber verschlossen. Sie nimmt aber nicht die lichtempfindliche Platte (*Pl*) auf, sondern diese wird noch in eine zweite Kassette (K_2) gelegt, welche genau in die erste Kassette (K_1) hineinpaßt. Die photographische Platte befindet sich also in doppeltem Verschluß. Der Deckel der inneren Kassette ist nun mit einer Vorrichtung versehen, welche ihre Öffnung ermöglicht, während die äußere Kassette geschlossen ist. Es geschieht dies in der Weise, daß durch den Rahmen der äußeren Kassette ein Drahtstift (*S*) durchgeführt ist, der in ein Loch des Deckels (*D*) der inneren Kassette eingreift und so diesen herausziehen läßt. Erst wenn die innere Kassette geöffnet ist, wird der ganze Apparat ins Wasser bis zu der Stelle versenkt, für die das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein von Licht erwiesen werden soll. Das Einlegen der photographischen Platten erfolgt zu Hause in der Dunkelkammer; wie bei jeder anderen photographischen Aufnahme werden dann die Kassetten in die an der Stange befestigte Kassette, die also der sonstigen Kamera entspricht, eingelegt.

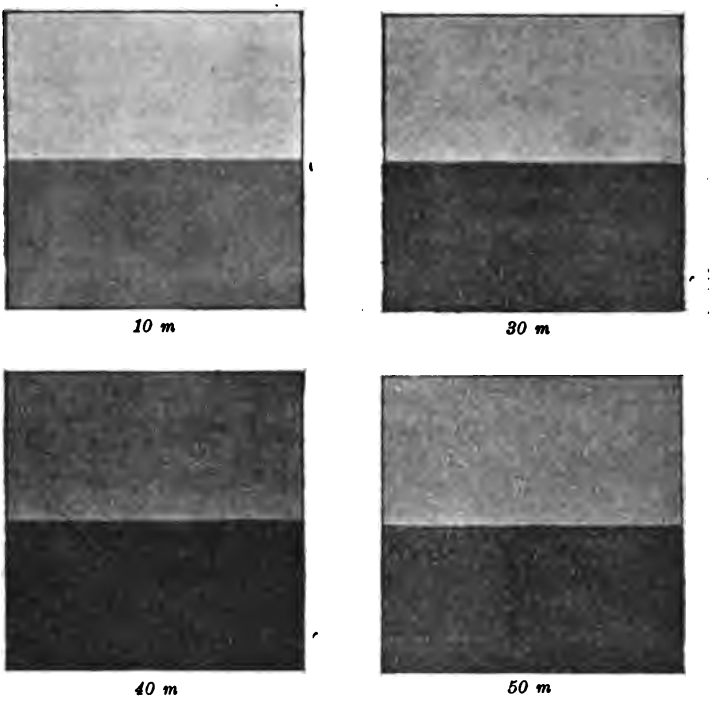
Die Öffnung und Schließung dieser äußeren Kassette in der Tiefe erfolgt durch herabfallende Gewichte. Zunächst bewirkt ein kleineres Gewicht die Öffnung der Kassette. Das Gewicht fällt auf einen Hebel (H_1), der wie bei den bekannten Briefwagen mit der eisernen Stange verbunden ist, und verschiebt den Kasettendeckel durch den Druck gegen den Zapfen (Z_1) in der Richtung des Pfeiles. Ein zweites erheblich schwereres Gewicht bewirkt die Schließung der Kassette, indem es den oberen Arm des Hebels (H_1) auf einen zweiten Hebel (H_2) drückt, der wieder auf einen dritten Hebel (H_3) wirkt. Dieser Hebel bewegt sich aber in entgegengesetzter Richtung gegen den kleinen Zapfen (Z_2) des Kassettendeckels und schiebt also diesen wieder zu. Die beistehende Figur wird die Beschreibung verständlich machen. Sie zeigt den Apparat in $^1/_4$, die Kasette darunter in $^1/_2$ der natürlichen Größe. Die Plattengröße ist 4 : 4 cm.

Mit diesem Apparat, der in der beschriebenen Form erst 1897 hergestellt worden war, hat der Verfasser im Sommer 1899 die ersten Messungen vorgenommen. Der Apparat arbeitet vollkommen zuverlässig. Auch ein zweiter von Hofer in München benutzter Apparat ergab gute Resultate. Auf Grund dessen glaubt der Verfasser, den Apparat seinen Fachgenossen empfehlen zu können. Allerdings darf man bei seiner Benutzung nicht vergessen, daß gegen die photographische Methode an sich manche Bedenken vorliegen. Er ist eben nur geeignet, für diese befriedigende Resultate zu liefern, aber solche auch nur dann, wenn man ihn in sachgemäßer

Digitized by Google

Weise verwendet. Dazu gehört, daß man die Platten nicht nach Willkür verschieden lang dem Lichte aussetzt. Es dürfte zweckmäßig sein, hier nach ganz bestimmten Grundsätzen zu verfahren, z. B. Momentaufnahmen und Zeitaufnahmen zugleich auszuführen und für die Zeitaufnahmen ein für allemal dieselbe Dauer, etwa 5 Minuten, anzuwenden.

Je nach der Stärke der Lichtwirkung verändern sich die Platten mehr oder weniger. Man kann an den Kopieen leicht die Lichtstärke ungefähr abschätzen. Unterstützt wird dieses Abschätzen da-



Abstufung der Lichtwirkung von 10—50 m Tiefe.

durch, daß die Platten immer nur zur Hälfte dem Lichte ausgesetzt werden, da die Kassetten sich nur halb öffnen. Der verdecktbleibende Teil der Platte wird aber doch ein wenig vom Lichte getroffen und zwar um so mehr, je stärker das Licht ist. So haben wir für die Abschätzung der Lichtstärke gleich 2 Maßstäbe.

Die Beobachtungen am Würmsee wurden dreimal ausgeführt, am 24. August, 2. und 9. September 1899. Da die Sichttiefe das erste Mal bei 4,9 m lag, und nach den Erfahrungen am Bodensee die Lichtgrenze dann etwa in der 6fachen Tiefe anzu-

Digitized by Google

nehmen ist, so wurden bei der Messung am 24. August die Platten nur bis 40 m eingesenkt. Sie zeigten nachher sämtlich eine Lichtwirkung. Am 2. September wurde der Apparat bis auf 50 m versenkt — die Sichtbarkeitsgrenze lag an diesem Tage bei 5,4 m —; allein auch in dieser Tiefe war noch eine deutliche Lichtwirkung vorhanden, aber sie war schon merklich schwächer. Erst bei der dritten Beobachtung, die bis auf 60 m ausgedehnt wurde, erreichten wir die Lichtgrenze. Die Sichttiefe wurde bei etwa 4,2 m gefunden, sie konnte aber bei der bewegten See nur schwer ermittelt werden und mag in Wirklichkeit etwas tiefer gelegen haben. Danach scheint das Verhältnis zwischen beiden Werten durchaus kein konstantes zu sein; im Genfersee schwankt es zwischen 1 : 6 und 1 : 10, hier erreicht es etwa den Wert 1 : 12, d. h. die Grenze des Lichtes liegt 12mal tiefer als die Sichtbarkeitsgrenze.

Wie die Stärke des Lichtes abnimmt, ist recht gut an den beistehenden, möglichst getreuen Nachbildungen zu erkennen.

Im Vergleiche zum Bodensee ist die Lichtgrenze im Würmsee sehr tief. Dort wurde bei einer Messung im August 1899 die Lichtgrenze schon bei 30 m gefunden, während die Sichtbarkeitsgrenze etwa bei 4,5 m lag. Im Genfersee zeigte sich nach einer Beobachtung vom 6. September 1887 die Grenze des Lichteindringens bei 50 m, die der Sichttiefe bei 5 m. Aus dieser Thatsache, daß der Würmsee bei nicht sehr tiefer Lage der Sichtbarkeitsgrenze doch bis zu ziemlich großer Tiefe von dem Lichte durchdrungen wird, möchten wir den Schluß ziehen, daß sein Wasser sehr klar, also an Beimengungen von Staub- und Lebewesen arm ist, daß aber starke Konvektionsströme, wie sie aus den Temperaturbeobachtungen am 9. September sich ergeben, in ihm die Durchsichtigkeit erheblich vermindern. Das Wasser des Bodensees ist dagegen offenbar stark getrübt; gleichwohl vermögen wir die weiße Scheibe noch fast tiefer als im Würmsee zu verfolgen, aber das völlige Dunkel tritt schon in der halben Tiefe ein.

Litteratur.

[1] O. Krümmel, Bemerkungen über die Durchsichtigkeit des Meerwassers. (Annal. d. Hydrographie und Marit. Meteorologie. 1889.)

[2] Lorenz von Liburnau, Der Hallstättersee. S. a. a. O.

[3] Arthur Seligo, Untersuchungen in den Stuhmer Seen. Danzig 1900.

[4] F. A. Forel, Handbuch der Seenkunde. S. a. a. O.

[5] H. v. Hasenkamp, Die Farbe der natürlichen Gewässer. S. a. a. O.

[6] F. A. Forel, Transparenz und Farbe des Bodensees. (Schrift. d. Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung. XXII.) Lindau 1893.

[7] Hauger, Photographische Apparate zur Bestimmung der Lichtgrenze im Meere. (Photogr. Rundschau 1895.)

Digitized by Google

Einige optische und akustische Erscheinungen.

Außer der Durchsichtigkeit und der Farbe bietet ein See noch eine Reihe anderer optischer Erscheinungen dar, auf die wir hier nur kurz eingehen wollen. Sie sind ausführlich von Forel am Genfer See untersucht worden. Am Würmsee sind nur die Erscheinungen der Lichtbrechung, der Kimme, genauer beobachtet und erforscht worden. Der Meteorologe Lingg hat eine ausführliche Abhandlung darüber veröffentlicht.[1] Auf den Inhalt derselben können wir hier nicht näher eingehen, die Erscheinungen selbst aber möchten wir kurz charakterisieren.

Wer längere Zeit sich an einem See aufgehalten hat, wird wiederholt wahrgenommen haben, daß die Gegenstände über den See hinweg oft in ganz verschiedener Höhe sichtbar werden. Es ändert sich die sogenannte Kimme. Lingg berichtet, daß am Würmsee von Bernried aus das Schloß Leutstetten oft kaum oberhalb der Kimme zu sehen ist, während es zu anderen Zeiten wieder so hoch aufragt, daß selbst das Uferland zwischen dem Schlosse und dem See im Gesichtsfelde erscheint.

Dieser Wechsel der Kimme ist den Anwohnern wohl bekannt. Man betrachtet ihn als ein Zeichen für eine Witterungsänderung. Erscheint an klaren Tagen das jenseitige Ufer sehr hoch, so steht Regen bevor. Nach den Untersuchungen Linggs steht die Höhe der Kimme in bestimmter Beziehung zur Temperatur und zum Feuchtigkeitsgehalt der Luft, namentlich der Luft unmittelbar über dem Wasser. Danach ist es wohl denkbar, daß ein Wechsel der Kimme thatsächlich eine Änderung in dem Zustande der Atmosphäre, also eventuell auch eine solche im Wetter andeuten kann.

Gleichzeitig mit der Höhe wechselt oft auch die Klarheit der Bilder. Diese Erscheinung erschwert außerordentlich die Schätzung von Entfernungen auf Seen. Man sollte bei den Messungen ganz auf sie verzichten, da sie zu weit ungenaueren Resultaten führt wie auf dem Lande.

Die erwähnten optischen Erscheinungen verbieten auch die Anwendung der tachymetrischen Methode der Messungen von Entfernungen. Die Bestimmung der Lotungsstellen nach dem tachymetrischen Verfahren ist nicht nur wegen der Unruhe des Bootes auf dem Wasser, sondern auch wegen dieser Verschiedenheiten in dem optischen Verhalten der Luft zu verwerfen.[2]

Eine genauere Feststellung aller dieser Erscheinungen muß einer Spezialuntersuchung überlassen bleiben. Sie erfordert eine Reihe von

Digitized by Google

Apparaten und Voruntersuchungen, die dem Verfasser nicht zur Verfügung standen.

Interessant ist unter den optischen Erscheinungen auch der häufige Farbenwechsel des Seespiegels. Am Würmsee kann man Färbungen zwischen dem tiefsten Smaragdgrün bis zum reinen Purpur beobachten. Die Farben ändern sich je nach der Art der Belichtung namentlich aber auch je nach der Bewegung des Wassers. In dem Laien rufen sie die Vorstellung hervor, als ob der See überhaupt keine Eigenfarbe besäße. Allein am Würmsee ist gerade die Beobachtung des scheinbaren Farbenwechsels in dieser Beziehung außerordentlich lehrreich; der Verfasser hat niemals eine rein blaue Färbung beobachtet. Es traten immer nur andere Farbentöne auf, unter denen grüne entschieden vorherrschen, sodaß man schon daraus schließen kann, daß der See grünes Wasser hat.

Von diesen Färbungen sind wohl jene zu unterscheiden, die nur Spiegelungen des Himmels darstellen. Sie wechseln nach dem Zustande des Himmels. Unter ihnen kann man auch blaue Farben häufig beobachten. Doch treten diese Färbungen nur dann auf, wenn wirklich eine Spiegelung möglich ist, z. B. wenn der Beobachter sich genügend hoch befindet und der See ziemlich ruhig ist. Am Würmsee hat der Verfasser die Spiegelungen des Himmels nur von den größeren Anhöhen aus deutlich wahrnehmen können. Eine wirklich blaue Färbung des Sees als Spiegelung des Himmels scheint äußerst selten. Im allgemeinen erscheint die Seefläche, wenn sie ruhig ist, silberweiß. Ist sie bewegt, so kommen sofort jene anderen oben erwähnten Färbungen zur Geltung.

Wir haben mit Absicht diese Erscheinungen hier zur Sprache gebracht, obwohl wir sie selbst nur nebenbei in unsern Beobachtungskreis ziehen konnten, weil darüber noch soviel Unklarheit herrscht und infolgedessen vielfach auch ganz falsche Ansichten über die Farbe eines Sees entstanden sind.

Auch den akustischen Vorgängen konnten wir nur gelegentlich unsere Aufmerksamkeit schenken. Hier hatten wir wiederholt Gelegenheit, die außerordentliche Hörweite auf dem Wasser festzustellen. Menschliche Stimmen sind kilometerweit über den See hin vernehmbar. In Bernried hört man deutlich noch das Läuten der Dampferglocken vom jenseitigen Ufer, das hier fast 3 km entfernt ist und das konstante Geräusch des Dampfers hört man ebensoweit, oft wenn das Schiff selbst noch kaum sichtbar ist.

Am deutlichsten hört man alle Geräusche am Ufer auf dem See selbst. Hier wird die Vernehmlichkeit erhöht durch das Fehlen jedes störenden Geräusches am Ort des Beobachters. Am günstigsten

Digitized by Google

für eine weite Hörweite ist ruhiges klares Wetter, außerdem Nebel.

Die große Hörweite auf dem Wasser ist sicher eine Erscheinung, die allgemeine Beachtung verdient. Sie ist auch für die Ozeane wiederholt festgestellt. Vielleicht haben wir es hier mit einer Erscheinung zu thun, deren letzte Ursache in der thermischen Wirkung des Wassers liegt. Über dem See lagern bei ruhigem Wetter Luftmassen, die eine andere Wärme und auch eine andere Feuchtigkeit aufweisen wie die Luft über dem Lande. Ihr Zustand ist aber sicher über dem Wasser ein ziemlich gleichmäßiger. In dieser gleichmäßig beschaffenen Luft wird nun der Schall schneller und besser weiter getragen als in der in ihrer Beschaffenheit stetig wechselnden Luft über Land. Es fehlen dann auch die Hindernisse, die auf dem Lande den Schallwellen störend entgegentreten, wie Bäume, steile Gehänge u. s. w. Oft vernimmt man die Geräusche auf dem Wasser in einer solchen Stärke, in der sie kaum am Ort der Entstehung auftreten, sie erscheinen geradezu verstärkt. Man möchte dabei an jene Erscheinung denken, der Tyndall seinerzeit schon seine Aufmerksamkeit schenkte.[3] Tyndall stellte fest, daß es ein Luftecho giebt, durch das der Schall verstärkt und weiter getragen wird. Er hat die grundlegenden Beobachtungen ebenfalls über Wasser gemacht. Das Echo in der Luft wird vermutlich an den Grenzen physikalisch verschiedenartiger Luftschichten bewirkt. Wahrscheinlich können auch die Wolken ein derartiges Echo erzeugen.

Wir haben unsere Beobachtungen am Würmsee hier nur erwähnt, um damit zu weiterer Untersuchung der Erscheinung anzuregen. Vielleicht können die Ergebnisse zur Erklärung der jetzt vielfach erwähnten Luftpuffe beitragen, die nach unserem Dafürhalten nichts weiter als durch das Luftecho fortgetragene Geräusche sind.

Litteratur.

[1] Lingg, Über die bei Kimmbeobachtungen u. s. w. S. a. a. O.

[2] E. Richter, Seestudien (S. 5) S. a. a. O.

[3] John Tyndall, Fragmente aus den Naturwissenschaften. (S. 287. Neuere Versuche über Nebelsignale).

Die hydrostatischen und hydrodynamischen Erscheinungen.

Denivellationen.

Die Spiegelfläche des Würmsees ist keine völlig ebene Fläche; als Niveaufläche nimmt sie an der Krümmung der Erdoberfläche teil. Bei der großen Ausdehnung von über 20 km ist der Betrag der

Digitized by Google

Krümmung schon ein ziemlich beträchtlicher. Die Rechnung ergiebt, daß das eine Ende des Sees um mehr als 30 m unter der Tangentialebene des anderen Endes liegt. Das ist ein für das Auge wahrnehmbarer Betrag. Man kann demnach am Würmsee vom einen Ende über den See hinweg nicht das jenseitige Ufer sehen.

Innerhalb dieser Niveaufläche konnten Denivellationen bisher nicht festgestellt werden. Es wäre daran zu denken, daß die ungleiche Anhäufung von Gesteinsmassen zu beiden Seiten des Sees auf das Wasser eine ungleiche Anziehung ausübten und es aus der normalen Lage bringen könnten. Allein die Massen sind dazu doch zu gering, die Ungleichheiten also auch nicht bedeutend genug, um merkbar zu werden. Weiter wäre anzunehmen, daß durch die Art der Speisung, die hauptsächlich von Süden her erfolgt, ein geringes Gefälle verursacht ist. Doch dem See wird auch an seinem Nordende eine ziemlich große Wassermenge zugeführt. Die längs des Sees vorgenommenen Nivellements haben nach Lingg daher auch keine Höhenunterschiede ergeben.[1] Die Seefläche ist also in ihrer Lage vollständig normal.

Vertikale und horizontale Bewegungen des Wassers.

Vorübergehende Störungen in der Gleichgewichtslage dürften aber gleichwohl zeitweise auftreten. Sie werden sicher schon durch andauernde Winde hervorgerufen. Beobachtungen an zuverlässigen Pegeln liegen darüber nicht vor. Durch Schätzung ist aber ein solches lokales Steigen des Wasserspiegels schwer festzustellen, da der See dann immer bewegt ist und durch die brandenden Wellen der wahre Stand des Wassers unbestimmbar wird.

Eine andere Ursache der Gleichgewichtsstörung dürfte der verschiedene Zustand der Luft über dem See sein. Dieser veranlasst in den Binnenseen jene bekannten stehenden Wellen, die Seiches, bei denen der Spiegel an einer Stelle des Sees sich eine Zeit lang hebt, während er gleichzeitig an einer anderen Stelle sich senkt. Nach Forel wird dieses Schwingen eines Sees in erster Linie durch Ungleichheit des Luftdruckes über den verschiedenen Teilen des Sees hervorgerufen.

Für den langgestreckten Würmsee sind Störungen des Gleichgewichts in der Luft sicher vorhanden und darum auch solche in der Seefläche von vornherein wohl denkbar. Thatsächlich bietet sich oft Gelegenheit, derartige Verschiedenheiten des atmosphärischen Zustandes zu beobachten. Es geht nicht selten über Starnberg ein Gewitter nieder, während am oberen Ende des Sees das herrlichste Wetter herrscht, und umgekehrt. Der Unterschied in der Witterung

Digitized by Google

ist zuweilen ein ganz auffallender. So kommt es vor, daß die Dampfer unter strömendem Regen ihre Fahrt bei Starnberg beginnen, in der Mitte des Sees etwa im herrlichsten Sonnenschein die Fahrt fortsetzen und schließlich wieder unter Regen Seeshaupt erreichen. Auch tritt der Fall ein, daß der Himmel über Starnberg dauernd mit dichten Wolken bedeckt ist, während das obere Ende des Sees bis zum Gebirge hin im hellsten Sonnenschein liegt.

Solche Ungleichheiten der Witterung lassen auf Gleichgewichtsstörungen in der Luft schließen, diese aber könnten in dem langgestreckten Wasserbecken wohl Seiches erzeugen.

Der Verfasser konnte das Vorhandensein solcher Schwingungen des Wassers jedoch nicht nachweisen. Es fehlten ihm dazu die ausreichenden Hilfsmittel. Nach den Angaben Forels hatte er sich ein sogenanntes Plemyrameter*) anfertigen lassen.[2] Dieses besteht aus einem einfachen nicht zu engen Glasrohre, in dem ein Schwimmer oder ein Ruder so angebracht ist, daß man, wenn Wasser durch das Rohr hindurchfließt, aus seiner Stellung oder Lage jede Bewegung, vor allem aber auch die Richtung des Fließens erkennen kann. Wird nun ein solches Rohr so gebogen, daß es mit dem einen Ende in den See, mit dem anderen Ende in ein Gefäß eintauchen kann, dessen Boden tiefer als der Seespiegel liegt, so wird, wenn das Rohr zuvor mit Wasser gefüllt war, durch dasselbe das Wasser aus dem See in das Gefäß fließen, bis der Wasserspiegel darin die gleiche Höhe hat wie der Seespiegel. Dann kommt das Wasser und gleichzeitig der Index im Rohre zur Ruhe. Jede Bewegung des Index zeigt eine Bewegung des Wassers an und diese kann wieder nur durch eine Störung des Gleichgewichtes zwischen den beiden Wasserbehältern, dem See und dem Gefäße, verursacht sein. Eine stehende Welle, eine Seiche, bei der eine Zeit lang das Wasser im See ansteigt, muß sich daher sofort in einer Bewegung des Index bemerkbar machen.

Ein solches Plemyrameter hat der Verfasser mehrmals in Bernried am See aufgestellt. Die Beobachtungen daran haben aber zu keinem Resultate geführt. Daraus durfte jedoch nicht geschlossen werden, daß überhaupt keine Seiches im Starnberger See existieren. Einmal sind dafür die Beobachtungen zu selten ausgeführt, sodann nur bei sehr ruhigem Wetter, wo die Bedingungen für eine Seiche vielleicht nicht gegeben waren, und endlich war wohl auch der Ort für die Beobachtung nicht günstig. Bernried liegt nicht am Ende des Sees, wo die Schwingungen am deutlichsten auftreten. Auf Tage

*) Von $\pi\lambda\acute{\eta}\mu\mu\upsilon\varrho\alpha$ = Wogenschwall, Flut.

Digitized by Google

mit ruhigem Wetter mußten die Beobachtungen beschränkt werden, weil der Apparat zu empfindlich war und bei hohen Wellen auf jeden Wellenschlag reagierte.

Sicheres über diese Frage konnten nur fortgesetzte Beobachtungen mit einem selbstregistrierenden Limnimeter liefern. Ein solches Instrument ist auf Anregung von H. Ebert in München im Sommer 1900 am Ufer bei Kempfenhausen aufgestellt worden und hat sofort das Vorhandensein von Seiches im Würmsee dargethan.[3]

Ebert kam auf Grund der Limnimeteraufzeichnungen zu folgendem Resultate:

Die Seicheserscheinung ist im Würmsee unzweifelhafterweise und in durchaus typischer Form vorhanden. Die Schwingungen, welche die gesamte Wassermasse fast ununterbrochen ausführt, sind reine einem Sinusgesetze folgende, harmonische Pendelschwingungen und zwar stehende Schwingungen im Sinne der Forelschen Theorie. Es besteht zunächst eine Haupt- oder Grundschwingung von rund 25 Minuten voller Periodendauer (Hin- und Hergang), die Längsschwingung des ganzen Sees; diese ist einknotig, uninodal, und erzeugt immer entgegengesetzte Schwingungsphasen an den beiden Seeenden. Die Knotenlinie dürfte etwa bei Tutzing quer über den See hinlaufen. Die Amplitude erreicht 5—50 mm. Weiter wurde noch eine kleinere Oberschwingung von $15\,^3/_4$ Minuten und eine Querseiche von etwa 5 Minuten Dauer beobachtet. Bei allen Schwingungen ist die Dauer unabhängig von der Amplitude, das Gesetz des Isochronismus der Pendelschwingungen gilt also auch hier. Von meteorologischen Einflüssen, welche unmittelbar kräftige Schwingungen des Wassers erregen können, sind bisher besonders plötzlich eintretende Luftdruckänderungen, z. B. Gewitternasen, hervorgetreten.

Das Plemyrameter zeigte aber deutlich eine Reihe anderer Schwankungen, die von langgestreckten Wellen herrühren. Diese werden durch die zahlreichen Dampfer verursacht. Die Dampfer durchschneiden in einer tiefen Furche das Wasser und rufen dadurch mehrere hohe Wellen hervor, die sich über den ganzen See hin fortsetzen und mit der Entfernung sich natürlich immer mehr verflachen, aber doch kilometerweit noch merklich das Wasser bewegen. Bei ruhigem Wetter spürt man die Dampferwellen deutlich im Boote. Die Wellen schreiten mit einer Geschwindigkeit von 1,5 bis 2 m fort. Wenn das Schiff am Ambacher Ufer fährt, machen sich die Wellen am Bernrieder Ufer etwa noch 20 bis 30 Minuten geltend. Da der See im Sommer sehr viel von Dampfern befahren wird, treten die Wellen ziemlich häufig auf. Bei der genaueren

Digitized by Google

Forschung nach dem Vorhandensein einer Seichesbewegung werden diese Wellen sorgfältig berücksichtigt werden müssen, da sie das Bild der Seiches leicht verwischen können.

Bei jedem Winde wird außerdem die Wasserfläche in starke Bewegung versetzt. Diese Windwellen entwickeln sich, wie wohl in allen Süßwasserbecken, auf dem Würmsee sehr schnell. Doch geht der Wind der Bildung meist voraus. Die Luftbewegung schreitet also hier schneller fort als die Wasserbewegung. Erhebt sich bei ruhigem Wetter ein Wind, so spürt man diesen gewöhnlich zuerst am Körper und, wenn das Boot nicht gerudert wird, in einem starken Abtreiben desselben. Die Seefläche zeigt erst dann eine leichte Kräuselung. Die kleinen Wellen vereinigen sich bald zu größeren, die selbst bei schwachem Winde bis zum Überkippen sich entwickeln.

Bei starkem Winde erreichen die Wellen auf dem See eine ziemlich bedeutende Höhe. Diese wird freilich meist sehr überschätzt, z. T. wohl deshalb, weil sie vom Boote aus bestimmt wird. Die Wellen sind allerdings oft so hoch, daß sie die Fahrt in den leichten Booten gefährden und diese so schaukeln, daß man aus dem Wellenthale heraus oft das Ufer des Sees nicht mehr erblicken kann.

Nach den vom Verfasser vorgenommenen Schätzungen erreichen die Wellen meist nur eine Höhe von 20—30 cm. Eine Höhe von 50 cm hat der Verfasser nie beobachtet. Die Schätzung wurde in der Weise ausgeführt, daß an fest in den Grund eingerammten Pfählen oder Stangen die Höhe des Wellenberggipfels und des Wellenthales gemerkt und der Höhenunterschied dann abgeschätzt wurde.

Die Höhe der Wellen mag auch deshalb oft überschätzt werden, weil sie vom Ufer aus viel größer erscheint. Dort haben wir es aber überhaupt meist nicht mehr mit normalen Wellen zu thun. durch die Reibung auf dem Grunde wird dort ihre horizontale Bewegung in eine vertikale umgewandelt, sodaß allerdings thatsächlich die Wellenberge ziemlich hoch aufsteigen.

Wie die Wellen meist nicht dem Winde vorauseilen, so pflegen sie ihm auch nicht lange zu folgen. Eine sogenannte Dünung, also eine Wellenbewegung nach Abflauen des Windes, hat der Verfasser selten beobachtet. Auch wenn an einem Ende des Sees das Wasser stark bewegt ist, setzt sich diese Bewegung außerhalb des Windes nicht über den ganzen See fort. Zuweilen bemerkt man nur bei schwachem Winde verhältnismäßig hohe Wellen; diese dürften als eine Art Dünung anzusehen sein. Im allgemeinen wird der See, sobald sich der Wind gelegt hat, auch in kurzer Zeit wieder ruhig. Der Verfasser ist mehrmals bei seinen Messungen von Gewitterstürmen überrascht worden. Diese haben immer nur die Messungen auf kurze

Digitized by Google

Zeit unterbrochen; sobald das Gewitter vorüber war, verschwanden auch die Wellen.

Für die Bildung der Wellen sind unregelmäßige Luftbewegungen am günstigsten. Weht ein gleichmäßiger Wind, so entwickeln sich die Wellen viel langsamer und schwächer, als wenn schwache und starke Windstöße sich ablösen. Böige Winde rufen am schnellsten hohe Wellen hervor.

Bei völliger Ruhe der Luft gleicht die Seefläche einem Spiegel. Aber ein solcher Zustand tritt doch selten ein. Auch bei der größten Ruhe treten in der Luft kleine Bewegungen auf, kommen kleine Windstöße zur Erscheinung, die das Wasser wenigstens schwach kräuseln. Diese leichten Windhauche tragen offenbar einen böigen Charakter. Sie treten nur vorübergehend und auf kleinerem Raume beschränkt auf. Deshalb wird durch sie auch nie die ganze Seefläche bewegt, sondern nur einzelne Gebiete. Wenn man sich an einem solchen Tage auf dem See befindet, kann man deutlich diese Stellen geringer Wasserbewegung wahrnehmen. Um das Boot herum ist alles spiegelglatt und wenige 100 m davon entfernt erscheint auf dem Wasser eine leichte Kräuselung. Fährt man in dieses Gebiet hinein, so spürt man nichts von einer Luftbewegung, die Kräuselung des Wassers bleibt einem fast rätselhaft. Wir möchten sie aber doch auf eine Luftbewegung zurückführen, die eben entweder so schwach ist, daß wir sie im fahrenden Boote nicht mehr spüren, oder die nur vorübergehend auftritt und eine leichte Kräuselung des Wassers hinterläßt.

Überblickt man den See an einem solchen Tage vom Ufer aus, so erscheinen die ruhigen Flächen als lange weiße Streifen zwischen den dunkleren leicht bewegten Flächen. Die Erscheinung ist so auffallend, daß sie oft der Gegenstand wissenschaftlicher Diskussion geworden ist. Man hat die Streifen als Wirkungen organischer Beimengungen, die dem Wasser stellenweise eine zähere Oberfläche geben, betrachten wollen. Forel bezeichnet sie als Ölflecke, als taches d'huile.[4] Allein warum sich diese feine Ölschicht nicht über den ganzen See ausbreitet, ist nicht ohne weiteres einzusehen. Außerdem treten Flächen geringerer Wellenbewegung auch bei heftigeren Winden auf, was nur durch eine lokale Verminderung der Windstärke zu erklären ist. Die vermeintlichen Ölflecke sind endlich bald als breite Flächen, bald als schmale Streifen wahrzunehmen. Daraus möchten wir ebenfalls entnehmen, daß die Erscheinung vorwiegend eine Wirkung der Luftbewegung ist, was freilich nicht ausschließt, daß sie zuweilen auch als eine Folge der größeren oder geringeren Zähigkeit der Wasseroberfläche auftritt.

Digitized by Google

Schließlich ist noch die Frage zu erörtern, ob neben den vertikalen auch horizontale Bewegungen, also Strömungen, im See auftreten. Da durch Windstau zweifellos Denivellationen des Seespiegels bewirkt werden, ist eine solche horizontale Bewegung wohl denkbar.

Weiter wäre anzunehmen, daß durch die Speisung des Sees, die doch hauptsächlich von Süden her erfolgt, eine Strömung von Süden nach Norden hervorgerufen werden könnte. Allein gegenüber der gewaltigen Wassermasse im Seebecken ist der oberflächliche Zufluß so gering, daß er kaum sich durch das ganze Wasser bemerkbar machen kann. Der See stellt eine wirkliche Wasseransammlung, aber nicht eine Flußerweiterung dar.

Nach unseren Untersuchungen bestehen jedoch im See thatsächlich horizontale Strömungen von deutlich wahrnehmbarer Geschwindigkeit. Sie dürften aber weniger durch den Windstau, sondern eher durch Ungleichheiten des physikalischen Zustandes im Wasser, namentlich durch thermische Verschiedenheiten verursacht sein.

Den Anwohnern des Sees, die sich oft auf dem Wasser befinden, sind diese Strömungen wohlbekannt. Sie berichten davon, daß man sie vom Ufer aus beobachten könne, indem sich das Wasser an diesem entlang rasch vorwärts bewege. Diese Beobachtungen sind allerdings mit Vorsicht aufzunehmen. Denn die Strömung des Wassers könnte leicht auch nur eine scheinbare sein. Auf dem Wasser schwimmen eine Menge leichter Gegenstände, die vom leisesten Windhauche vorwärts getrieben werden. Wenn dann alles auf dem Wasser so vor dem Beschauer sich verschiebt, erweckt das den Eindruck, als ob das ganze Wasser vorübergleite. Es ist das eine ähnliche optische Täuschung, wie wir sie auf Flüssen erfahren, die bei einem stromaufwärts wehenden Winde sogar stromaufwärts zu fließen scheinen.

Glaubhafter sind dagegen die Berichte der Fischer, nach denen Strömungen im See vorkommen, die imstande sind, die ausgelegten Netze fortzureißen. Sie bezeichnen diese Bewegungen als das „Rinnen“ des Sees. Der Verfasser wurde auf sie zuerst aufmerksam durch Abtreibungen des Bootes von seiner Stelle bei völlig ruhigem Wetter. Das Boot wurde förmlich getrieben. Da auch hierbei ein leichter Windhauch, der in dem mit dem Winde treibenden Boote natürlich nicht verspürt werden kann, mit im Spiele sein konnte, setzte der Verfasser Schwimmer aus, die gleichfalls bald eine erhebliche Ortsveränderung zeigten. Um noch sicherer zu gehen, wurde eine Flasche so beschwert, daß sie annähernd das spezifische Gewicht des Wassers besaß, also an einem kleinen Schwimmer leicht in jeder Tiefe schwimmen gelassen werden konnte. Sie wurde jedoch nur etwa 50 cm tief eingesenkt. In dieser

Digitized by Google

Tiefe machte sich noch eine ziemlich starke Strömung bemerkbar; denn die Flasche trieb in 15 Minuten etwa 100 m ab. Der Strom bewegte sich also mit einer Geschwindigkeit von 10—15 cm in der Sekunde fort. Dieser Versuch wurde am 11. August 1899 vormittags bei völlig ruhigem Wetter ausgeführt. Es kann also kein Zweifel darüber bestehen, daß wir es wirklich mit einer horizontalen Bewegung des Wassers zu thun haben.

Die Versuche wurden an dem betreffenden Tage mehrmals wiederholt. Es stellte sich dabei heraus, daß näher dem Ufer die Geschwindigkeit der Wasserbewegung erheblich abnahm. Sie betrug nur noch etwa 2—3 m in der Sekunde.

Die Ursache dieser Strömungen könnten voraufgegangene Denivellationen der Seefläche durch Windstau oder auch Störungen des Gleichgewichts im Wasser durch ungleiche Temperaturverteilung sein. Das letztere ist wohl die wahrscheinlichere Ursache. Wir hatten bei der Erörterung der Temperaturverhältnisse ja gesehen, daß zeitweise ziemlich beträchtliche Ungleichheiten in der Temperatur bestehen, namentlich im Bereiche der oberen Wasserschichten. Die Erwärmung dieser ist gleichzeitig am Ufer des Sees eine viel stärkere, als in der Mitte des Sees. Die Schichten gleicher Temperatur werden keineswegs von ebenen Flächen begrenzt. Es ist daher durchaus denkbar, daß durch diese thermischen Störungen des Gleichgewichts größere horizontale Bewegungen des Wassers eingeleitet werden. Diese sind vielleicht zum Teil auch der Grund der großen Unbeständigkeit der Temperatur, namentlich in der Region der Sprungschicht. Solche horizontale Ausgleichsströmungen hat der Verfasser bereits für den Plöner See auf Grund eigenartiger Temperaturveränderungen in diesem festgestellt.[5]

In jüngster Zeit hat Ebert das „Rinnen“ durch das Schwingen des Sees zu erklären versucht.[3] „Das Rinnen des Starnberger Sees, welches sich besonders durch eine auffallend starke Unterströmung in beiden Richtungen geltend macht, scheint mit dem großen Deplacement erheblicher Wassermassen bei der Seichesbewegung im engsten Zusammenhange zu stehen.“ Es bleibt allerdings noch schwer verständlich, wie die stehende Welle von verhältnismäßig kurzer Dauer und geringer Amplitude derartige Strömungen hervorbringen soll.

Jeder Versuch mit einem kleinen Wasserbecken zeigt, daß solche Schwingungen des Wassers ohne erhebliche horizontale Verschiebung des Wassers vor sich geht. Die Seichesbewegung gleicht doch durchaus den Gezeiten im Meere; hier setzt sich Ebbe und Flut auch nur nahe den Küsten in horizontale Strömungen um. Sollten wirklich

Digitized by Google

die Seiches die Ursache des „Rinnens“ sein, so müßte sich auch bei diesem eine Periodizität zeigen, von der wir bis heute noch nichts wissen.

Vielleicht ist das „Rinnen“ identisch mit einer Erscheinung, die im Bodensee beobachtet ist und von den dortigen Fischern als das „An- und Auslaufen des Sees“ bezeichnet wird. Graf Zeppelin hält dieses An- und Auslaufen für identisch mit dem Phänomen der Seiches und möchte daher dieses Fremdwort durch jenen Ausdruck ersetzen.[6] Zur Bezeichnung der vollständigen Periode einer Seiche schlägt er das einfache „Laufen des Sees“ vor. Allein so sehr es auch zu begrüßen wäre, ein deutsches Wort für die auch in vielen deutschen Seen auftretende Erscheinung zu haben, so verbindet sich doch gerade mit dem Ausdruck „Laufen“ leicht eine falsche Vorstellung von dem Vorgange selbst. Würden weitere Untersuchungen im Würmsee einen Zusammenhang zwischen den Seiches und dem Rinnen ergeben, so dürfte fast dieser Ausdruck „Rinnen“ für Seiches noch geeigneter erscheinen. Vorläufig werden wir wohl das unbequeme Fremdwort als terminus technicus beibehalten müssen.

Die Wasserstandsänderungen.

Der Würmsee ist das Sammelbecken des Niederschlagswassers seiner unmittelbaren Umgebung. Es münden in ihn fast nur kleinere Bäche. Den einzigen größeren Zufluß finden wir im Süden als Entwässerungsader zahlreicher Seen und Filze. Auch dieser hat keine große Entwickelung und führt relativ nur geringe Wassermassen.

Das gesamte Zuflußgebiet des Sees ist, wie wir schon früher gezeigt haben, sehr klein; es übertrifft die Fläche des Sees nur um das Dreifache. Das Niederschlagswasser wird von diesem Gebiete zum Teil sehr rasch dem See zugeführt, noch dazu da die Bäche vielfach starkes Gefälle haben. Dieser rasche Abfluß wird noch dadurch gefördert, daß der Boden fast überall wasserundurchlässig ist, wodurch eine starke Einsickerung verhindert wird.

Auf der anderen Seite finden sich im Zuflußgebiete des Sees aber auch sehr viele Moore und kleine Seen, in denen das Regenwasser zum Teil für längere Zeit aufgespeichert wird, zum Teil auch zur Entwickelung der Pflanzen verbraucht wird oder verdunstet. Diese Moore und Seen sind dann in den regenlosen Zeiten die einzigen Quellen, aus denen dem See noch oberflächlich Wasser zugeführt wird. Alle Bäche, welche nicht aus ihnen gespeist werden, versiegen in solchen Zeiten; sie sind Regenbäche, die nur Wasser führen, wenn hinreichend Niederschlag gefallen ist.

Digitized by Google

Diese Art der Speisung macht sich in den Wasserstandsänderungen des Sees deutlich geltend; sie zeigen eine große Abhängigkeit von der jeweiligen Witterung, sind mehr oder weniger Spiegelbilder dieser. Eine eingehende Betrachtung der Wasserstandsbeobachtungen wird uns darüber hinreichend unterrichten.

Am Würmsee selbst sind unseres Wissens bisher amtlich keine Wasserstandsbeobachtungen gemacht, wohl aber an der Würm, unmittelbar am Austritte aus dem See. Der betreffende Pegel steht an der Brücke der Straße München-Weilheim. Da vom See bis zu dieser Stelle die Würm noch kein merkbares Gefälle zeigt, so entsprechen die Pegelstände genau den Wasserständen des Sees selbst.

Der Pegel wird seit dem Jahre 1837 regelmäßig beobachtet. In der umstehenden Tabelle haben wir aus rein äußerlichen Gründen nur die Aufzeichnungen seit 1840 aufgenommen. Mit dem Jahre 1896 schließen wir dann die Reihe ab, verfügen also über eine Beobachtungsperiode von 57 Jahren. Zur besseren Anschaulichkeit haben wir den Gang der Wasserstandsänderungen auch graphisch auf Tafel VIII unseres Atlas dargestellt.

Innerhalb dieses Zeitraumes sind Veränderungen am Flußbette der Würm nicht vorgenommen worden, sodaß also die erhaltenen Werte unter einander vollkommen gleichwertig sind.

Die Höhe des Pegelnullpunktes wird amtlich zu 583,15 m NN. angegeben, das amtliche Mittelwasser zu 0,41. Danach würden wir für die mittlere Höhe des Seespiegels 583,56 erhalten, die nach unseren früheren Ausführungen (S. 51) zu klein ist. Auf den Positionsblättern ist die Höhe zu 584 m angegeben. Der Nullpunkt des Pegel läge demnach 583,59 über NN.

Aus der 55jährigen Periode 1841—1895 ergiebt sich das Mittelwasser zu 51 cm, also um 10 cm höher. Für die Lotungen haben wir aber das amtliche Mittelwasser als das normale angenommen.

Der Unterschied zwischen dem amtlichen und dem aus unserer Beobachtungsreihe gewonnenen Mittelwasser erklärt sich leicht aus der Höhe des Mittelwassers von Jahr zu Jahr. Überschauen wir die jährlichen Wasserstände, so bemerken wir sofort, daß in den letzten Jahrzehnten die Wasserstände fast durchweg höher liegen als in der früheren Zeit. Der Wendepunkt fällt in die Mitte der 70er Jahre. Von 1875 an sinkt der Wasserstand nicht wieder unter das amtliche Mittelwasser, während zuvor etwa 40 Prozente der Jahreswasserstände darunter liegen. Als Mittel der Periode 1841—1875 erhalten wir 45 cm, als Mittel der zweiten Periode dagegen 60 cm. Es ist also eine ganz erhebliche Steigerung des Mittelwassers eingetreten, der von amtlicher Seite wohl noch nicht Rechnung getragen ist.

Digitized by Google

Mittlerer Wasserstand der Würm zu Starnberg.
(cm, Mittelwasser 41.)

Jahr	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Höchster, Wasserst.	Niedrigster	
1840	5	5	0	0	0	7	22	53	*64*	56	51	44	25	80	0	
1841	28	22	22	24	15	15	29	31	*36*	*36*	22	17	25	41	10	
42	7	1	6	6	0	0	−7	-12	-18	-16	-14	-11	−5	12	-22	
43	2	6	7	12	41	53	70	*79*	73	39	31	24	36	82	1	
44	12	6	17	22	19	29	39	33	53	*60*	49	37	33	63	0	
45	27	17	15	40	49	63	64	*70*	59	68	49	46	47	75	10	
	15	**10**	**13**	**21**	**25**	**32**	**39**	**40**	**48**	**37**	**27**	**23**	**27**			
1846	39	*46*	39	45	44	27	24	22	19	22	12	15	30	51	5	
47	6	17	15	31	46	47	58	58	*75*	68	53	40	43	78	5	
48	41	27	29	31	28	19	42	*45*	36	34	29	22	32	68	17	
49	36	40	39	41	48	*60*	56	51	47	44	42	43	45	71	17	
50	41	70	70	65	78	80	*84*	70	48	63	74	70	67	86	39	
	33	**40**	**38**	**43**	**49**	**47**	**53**	**49**	**45**	**46**	**42**	**38**	**44**			
1851	56	46	37	43	56	69	75	*98*	93	82	70	53	65	105	36	
52	44	47	41	34	34	35	37	45	70	*76*	64	53	48	82	31	
53	41	31	29	48	80	90	*112*	95	80	65	42	27	62	119	22	
54	19	16	18	19	22	29	36	*46*	41	31	24	20	27	56	12	
55	27	22	36	46	42	47	51	72	*88*	71	53	39	49	90	19	
	37	**32**	**32**	**38**	**47**	**54**	**62**	**71**	**74**	**65**	**51**	**38**	**50**			
1856	29	31	26	19	22	39	54	*58*	53	41	34	44	38	65	15	
57	39	29	27	39	38	*52*	*52*	47	34	24	15	8	34	56	7	
58	7	7	10	22	36	40	44	56	*63*	60	58	58	38	65	7	
59	53	51	56	63	75	*85*	75	68	63	58	53	53	63	88	46	
60	51	46	46	46	48	63	80	*98*	*98*	95	75	68	69	100	44	
	36	**33**	**33**	**38**	**44**	**56**	**61**	**65**	**62**	**56**	**47**	**46**	**48**			
1861	70	68	63	57	54	64	*71*	69	53	46	32	31	56	75	27	
62	29	40	39	40	44	58	63	64	*68*	61	54	46	51	73	22	
63	44	44	36	35	41	51	*52*	*52*	48	47	45	40	45	58	34	
64	35	34	37	43	58	70	88	*90*	82	70	62	51	60	98	31	
65	48	*46*	45	44	44	41	31	36	36	22	13	7	34	51	5	
	45	**46**	**44**	**44**	**49**	**57**	**59**	**62**	**57**	**49**	**41**	**35**	**49**			
1866	4	8	19	36	44	49	56	68	*76*	69	51	51	44	80	2	
67	56	68	67	82	84	*90*	83	71	69	76	71	66	73	95	53	
68	66	65	63	64	*68*	65	59	49	32	24	17	19	49	70	12	
69	27	24	24	26	41	45	50	*57*	52	41	41	46	39	63	22	
70	41	36	40	44	36	36	30	39	50	49	51	*58*	43	63	27	
	39	**40**	**43**	**51**	**55**	**57**	**56**	**57**	**56**	**52**	**46**	**48**	**50**			
1871	58	60	65	65	73	69	*78*	71	56	46	36	29	59	82	24	
72	23	24	29	32	42	71	*75*	*75*	65	51	45	41	48	79	22	
73	35	27	36	36	47	65	*68*	64	58	48	36	31	46	72	25	
74	27	26	21	28	39	51	*62*	60	53	44	36	38	40	65	19	
75	41	46	47	53	51	54	*66*	*66*	56	59	61	60	55	73	35	
	37	**37**	**40**	**43**	**50**	**62**	**70**	**67**	**58**	**50**	**43**	**40**	**50**			

Digitized by Google

Jahr	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Jahr	Höchster, Wasserst.	Niedrigster	Amplitude
1876	60	60	78	77	*81*	78	80	58	45	32	25	24	58	86	23	63
77	25	35	45	60	64	58	65	73	*74*	59	46	39	54	76	23	53
78	44	49	55	57	66	70	66	75	*83*	79	63	50	53	89	36	53
79	46	42	41	39	47	52	*62*	60	59	54	47	40	49	67	35	32
80	40	33	36	40	43	58	70	78	79	80	*86*	82	60	97	31	66
	43	**44**	**51**	**55**	**60**	**63**	**69**	**69**	**68**	**61**	**53**	**47**	**57**			
1881	*74*	58	49	44	46	64	59	50	57	49	45	37	53	86	33	53
82	29	22	20	22	26	36	49	72	79	*85*	76	73	49	90	18	72
83	73	61	51	44	39	69	*79*	74	63	58	52	49	59	86	37	49
84	48	43	38	43	44	49	55	*56*	55	55	50	42	48	59	34	25
85	34	29	37	34	39	42	*72*	57	50	53	54	60	47			
	52	**43**	**39**	**37**	**39**	**52**	**63**	**62**	**61**	**60**	**55**	**52**	**51**			
1886	56	45	40	45	43	59	71	78	*81*	61	48	44	56	87	37	50
87	35	28	29	36	48	*60*	56	53	49	41	45	59	45	65	25	40
88	61	60	57	66	78	72	72	84	*94*	93	78	61	73	99	53	46
89	49	45	46	58	64	62	69	71	*77*	72	65	57	61	80	42	38
90	51	50	45	44	49	50	80	90	*128*	107	90	75	72	136	42	94
	50	**46**	**43**	**50**	**56**	**61**	**70**	**75**	**86**	**75**	**65**	**59**	**61**			
1891	61	51	53	61	66	63	72	*75*	70	59	49	46	61	77	44	33
92	55	67	65	59	66	82	97	99	*104*	98	91	78	80	110	51	59
93	66	69	73	61	52	50	56	*74*	66	62	60	55	62	78	46	32
94	50	47	50	48	65	82	85	90	94	*98*	93	80	74	101	45	56
95	68	61	60	70	79	*101*	98	93	83	71	66	68	76	87	56	31
	60	**59**	**60**	**60**	**66**	**76**	**82**	**86**	**83**	**78**	**72**	**65**	**71**			
1841—1895	**41**	**39**	**40**	**44**	**49**	**56**	**62**	**64**	**63**	**57**	**49**	**45**	**51**	**136**	**-22**	**158**
1896	72	64	76	91	118	115	109	124	*133*	127	104	80	101			

Die Ursache dieser Erhöhung des mittleren Wasserstandes ist offenbar in einer stärkeren Wasserzufuhr zum See zu suchen. Eine Änderung im Strombett der Würm ist, wie bereits mitgeteilt, nicht vorgenommen worden. Auch eine Zunahme des Niederschlages selbst ist für die letzten Jahrzehnte in Oberbayern nicht festgestellt. Dagegen sind thatsächlich in der Umgebung des Sees Änderungen der natürlichen Verhältnisse eingetreten, die recht gut eine stärkere Wasserzufuhr zum See verursachen konnten. Innerhalb der letzten Jahrzehnte sind zu beiden Seiten des Sees große Flächen entwaldet worden, weiter zahlreiche Seen abgelassen und viele Moore und Filze zur Torfgewinnung entwässert worden. Dadurch sind Zustände geschaffen, die sowohl ein schnelleres als auch ein stärkeres Abfließen des Regenwassers bedingen. Das Wasser kann sich nicht mehr in dem Maße wie früher in dem Waldboden, in den Seen und Mooren aufspeichern, sondern fließt durch die zahlreichen Entwässerungs-

Digitized by Google

gräben jetzt sofort zum See ab. Je schneller es aber diesen erreicht, um so geringer ist auch die Verdunstung, wodurch ebenfalls die Speisung des Sees erhöht wird.

Auf diese Thatsachen wird auch amtlicherseits das Steigen des mittleren Wasserstandes zurückgeführt. Daß es sich wirklich um eine Mehrung der Wassermasse im See handelt, geht klar daraus hervor, daß nicht nur die mittleren, sondern auch die niedrigsten und höchsten Wasserstände sich erhoben haben. Nach 1870 ist der Wasserspiegel nur noch 2mal unter 20 cm gefallen, während zuvor mehr als 50 % der niedrigsten Wasserstände unter diesem Niveau liegen. Und ähnlich verhält es sich mit den Maximalwerten, obwohl hier die Erscheinung nicht so deutlich hervortritt. Die höchsten Wasserstände sind eben von den Änderungen der Entwässerungsverhältnisse weniger abhängig. Um das zu begründen, müssen wir die Art der Speisung noch einmal ins Auge fassen. Sie giebt uns dann die Erklärung dafür, warum die absolute jährliche Schwankung in den letzten Jahrzehnten geringer geworden ist, warum sich Hoch- und Niedrigwasser näher gekommen sind.

Der See wird vorwiegend unmittelbar durch das Regenwasser gespeist. Der Beweis dafür ergiebt sich aus der großen Parallelität des jährlichen Ganges des Niederschlages und der Wasserstände. Diese hat schon Soyka in seinen Untersuchungen über die Schwankungen des Grundwassers festgestellt.[7] Er verglich den Wasserstand im Würmsee mit dem Grundwasserstand und dem Niederschlag in München. Die Zahlen ermittelte er aus der 30jährigen Periode 1856—1885. Nun ist ja die Entfernung des Sees von München allerdings eine ziemlich beträchtliche, sie beträgt über 30 km, allein es ist anzunehmen, daß innerhalb dieser Entfernung in der Verteilung des Niederschlages kaum Unterschiede bestehen. Überdies fehlen aus der unmittelbaren Umgebung des Sees meteorologische Beobachtungen von längerer Periode ganz, sodaß man entferntere Stationen der Untersuchung zu Grunde legen muß.

Wir teilen hier die betreffenden Werte nach Soyka zur besseren Übersicht in graphischer Darstellung mit (Tafel VIII). Man erkennt sofort, daß der Wasserstand im Würmsee fast genau dem Gange des Niederschlages folgt, nur mit einiger Verspätung, die durchaus naturgemäß ist, weil nach stärkerem Regenfall auch die vorhandenen Wasserreservoire in den Mooren und kleinen Seen eine Zufuhr erfahren, die erst später in den Bächen abfließt. Abgesehen von dieser Verspätung ist aber der Verlauf beider Erscheinungen vollkommen parallel. Das ist dagegen nicht der Fall in dem Gange der Wasserstände im See und des Grundwassers. Das Grundwasser

Digitized by Google

in München erreicht seinen niedrigsten Wasserstand bereits im November und steigt dann gleichmäßig bis zum höchsten Stande im Juni und Juli an, während der Seespiegel noch bis zum Februar fällt und erst dann mit dem zunehmenden Niederschlage wieder sich hebt. Gleichwohl besteht ein gewisser Parallelismus auch zwischen diesen beiden Erscheinungen. Offenbar wird der jährliche Gang des Seestandes wie des Grundwassers in gleicher Weise durch den Niederschlag bedingt.

In den Änderungen der Wasserstände und Niederschlagsmengen von Jahr zu Jahr zeigt sich nicht die gleiche Parallelität. Immerhin fallen auch hier die Maximal- und Minimalwerte nahezu zusammen. Eine völlige Übereinstimmung ist aber andererseits auch garnicht zu erwarten, weil das Jahresmittel des Wasserstandes im See nicht allein von der Menge, sondern weit mehr von der Art der Verteilung des Niederschlages abhängt. Dagegen ist auch hier wieder zwischen den Wasserständen im See und dem Grundwasser eine größere Übereinstimmung vorhanden, weil eben beide Erscheinungen gemeinsam von dem Niederschlage bestimmt werden.

Die unmittelbare Abhängigkeit der Seewasserstände von dem Regen ergiebt sich auch aus dem Gange der Hochwasser und der Mittelwasser. Auch diese verlaufen auffallend parallel, sodaß man annehmen muß, daß die letzteren durch die ersteren bestimmt werden. Die Hochwasser sind aber ganz zweifellos stets hervorgerufen durch starke Niederschläge, was schon daraus hervorgeht, daß ihre höchsten Beträge immer auf die niederschlagsreichsten Jahre fallen. Daraus folgert also, daß auch die jährlichen Mittelwasser in erster Linie durch den Regenfall bewirkt werden.

Die niedrigsten Wasserstände folgen zwar im allgemeinen ebenfalls den mittleren, zeigen aber einmal viel kleinere Schwankungen und ändern sich doch auch vielfach ganz unabhängig davon. Sie werden ja auch nicht durch die Menge des Niederschlages, vielmehr durch dessen Verteilung bestimmt. Auf sie wirkt vor allem die Art des Zuflusses ein. Da nun in den letzten Jahrzehnten dieser Zufluß offenbar beschleunigt und verstärkt worden ist, so macht sich das in erster Linie auch in den niedrigsten Wasserständen bemerkbar. Es wird ein großer Teil des Regenwassers, der früher in den kleineren Seen und in den Mooren der Seeumgebung aufgespeichert wurde, jetzt sofort dem See zugeführt und nun dort aufgespeichert, was eine stärkere Abnahme des Wassers verhindert. Auf die Hochwasser, die unmittelbar vom Regen abhängen, hat die veränderte Speisung des Sees nicht einen solchen Einfluß, infolgedessen mußten die Abstände zwischen Niedrig- und Hochwasser vermindert werden.

Digitized by Google

Auch in dem großen Betrage der Schwankungen der Wasserstände dürfen wir einen Beweis für die obige Behauptung erblicken. Der höchste Wasserstand wurde am 8. September 1890 mit 1,36 m, der niedrigste am 30. September 1842 mit —0,22 verzeichnet. Das ergiebt eine absolute Schwankung von 1,58 m, was für einen Binnensee, der nur von kleinen Bächen gespeist wird, ein ziemlich bedeutender Betrag ist. Vermutlich ist aber der höchste Wasserstand von 1890 noch im Jahre 1896 übertroffen worden, da dieses Jahr sogar als Mittelwert für den September 1,33 m zeigt.

Von Jahr zu Jahr erreichen die Schwankungen des Mittelwassers oft 20—30 cm, die des Hochwassers sogar 60—70 cm. Die Schwankungen des Niedrigstwassers sind im allgemeinen geringer; aber wir finden doch auch Unterschiede von 30, 40 und sogar 50 cm.

Die absoluten Jahresschwankungen liegen zwischen 24 und 97 cm. Die größten Schwankungen fallen auf die Jahre 1853 und 1890, die auch die höchsten Mittelwasser zeigen.

In den Änderungen der mittleren Wasserstände von Jahr zu Jahr tritt deutlich eine gewisse Periodicität auf. Auf Jahre hohen folgen immer einige Jahre niedrigen Wasserstandes. Um diese Periode klarer zur Anschauung zu bringen, wurden die Schwankungen von Jahr zu Jahr dadurch etwas ausgeglichen, daß die Wasserstände eines Jahres mit denen des vorhergehenden und nachfolgenden Jahres vereinigt und aus der Summe das Mittel berechnet wurde.

Die Periode zeigt sich am deutlichsten in der regelmäßigen Wiederkehr niedriger Wasserstände. Wir sehen, wie von 1841 sich die Kurve erhebt bis 1850, dann wieder sinkt bis 1857. Von 1858 steigt das Wasser rasch bis 1860 und fällt nun mit wiederholten Unterbrechungen bis 1873. Sie erhebt sich nun nur wenig, bleibt aber doch gleichmäßig in höherer Lage, bis sie 1886 nochmals ein Minimum erreicht. Dann kommt ein steiler Anstieg bis 1895, dem jedoch etwa 1899 ein Minimum gefolgt sein dürfte, da in diesem Jahre wieder ein auffallend niedriger Wasserstand eintrat. Die Perioden würden genauer nach den wirklichen Wasserständen begrenzt werden durch die Jahre 1842, 1857, 1874 und 1887, das ergiebt 15, 17 und 13 oder in Mittel 15 Jahre. Die Maxima beobachten wir 1850, 1867, 1880 und 1896; zwischen ihnen liegen also 17, 13 und 16 Jahre, also im Mittel wiederum 15 Jahre.

Was die Ursache dieser Periode ist, läßt sich wegen des Mangels an meteorologischen Beobachtungen nicht feststellen. Es ist aber anzunehmen, daß sie eine Periode der Hydrometeore ist, da von diesen die Wasserstände im See in erster Linie abhängen. Die Wendepunkte der Wasserstandskurve fallen im allgemeinen auch mit ex-

Digitized by Google

tremen Jahren des Niederschlages zusammen. So sind 1857 und 1874 Jahre mit geringem Niederschlage, 1867 und 1880 solche mit hohem. Mit den Brücknerschen Klimaperioden decken sich die Wasserstandsperioden am Würmsee nicht. Nach Brückner haben wir trockene Wärme nur 1860 und etwa 1895, nasse Kälte nur 1845 und 1880. In der Zeit von 1860 und 1895 haben wir aber gerade hohe Wasserstände und um 1845 niedrige. Nur das Jahr 1880 giebt sich auch im hohen Wasserstand des Sees als eine nasse Periode zu erkennen.

Der jährliche Gang des Wasserstandes ist ein ziemlich regelmäßiger. Das Maximum fällt in die Monate Juli, August und September, das Minimum in die Monate Januar, Februar, März. Da im Winter der Niederschlag meist als Schnee fällt, so erhält der See in diesen Monaten nur wenig Zufluß. Mit dem gewitterreichen Frühsommer beginnt dagegen die stärkere Speisung des Sees, die vom Juni bis in den Oktober hinein anhält. Die mittlere Jahresamplitude beträgt 25 cm nach der 55 jährigen Periode von 1841—1895, indem im Februar der Spiegel auf 39 sinkt, im August aber auf 64 steigt.

Dieser Gang der Wasserstände kehrt mit großer Regelmäßigkeit von Jahr zu Jahr wieder. Nur das Maximum verschiebt sich innerhalb der Sommermonate bis zum November. Jahre mit den Maximum im Winter sind dagegen sehr selten. Wir finden in unserer Reihe nur 5. Es sind entweder Jahre mit sehr geringem sommerlichen Niederschlag wie 1842, 1846 und 1865, oder Jahre, denen ein Jahr mit hohem Wasserstand vorausging, wie 1868 und 1881.

Litteratur.

[1] Lingg, Über die bei Kimmbeobachtungen u. s. w. S. a. a. O.

[2] F. A. Forel, Le Leman, II. Lausanne 1895.

[3] H. Ebert, Periodische Seespiegelschwankungen (Seiches) beobachtet am Starnberger See. (Sitz.-Ber. d. math.-physik. Klasse d. kgl. bayer. Ak. d. Wissenschaften. Bd. XXX, 1900, Heft III).

[4] F. A. Forel, Handbuch der Seenkunde. S. a. a. O.

[5] W. Ule, Beitrag zur physikal. Erforschung der balt. Seen (S. 39). S. a. a. O.

[6] Zeppelin, Graf E., Das „Laufen“, bezw. „An- und Auslaufen“ der Seen. (Hettners Geogr. Zeitschrift 1901).

[7] J. Soyka, Die Schwankungen des Grundwassers. (Geogr. Abhandlung von A. Penck, II, 3.) Wien 1888.

Digitized by Google

Anhang.

Chemische Beschaffenheit des Wassers.

Unmittelbar vor Fertigstellung des Druckes ist dem Verfasser noch eine genaue chemische Analyse des Wassers vom Würmsee in die Hände gekommen, die er zur Ergänzung früherer Mitteilungen seiner Arbeit noch beifügen möchte. Sie ist ausgeführt im chemischen Laboratorium der geognostischen Abteilung des königl. Oberbergamtes in München von Adolf Schwager, dem wir bereits eine Menge wertvoller hydrochemischer Untersuchungen verdanken.[1]

Das zur Analyse verwendete Wasser wurde ungefähr 1 km südlich von Starnberg von der Oberfläche am 28. Oktober 1894 geschöpft. Der Wasserstand des Sees war damals ein hoher, er lag etwa 60 cm über Mittelwasser.

In der beistehenden Tabelle giebt die Kolonne A in gr den Gehalt der Stoffe in 1000 gr Wasser, die Kolonne B diesen in % des Gesamttrockenrückstandes an. Zum Vergleich fügen wir auch noch die Analysen einiger anderer Seen hinzu.

	Würmsee		Walchensee		Königssee		Schliersee	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Kalk (Ca O)	0,0457	32,77	0,0505	37,75	0,0423	43,29	00,718	38,19
Magnesia (Mg O) . .	0,0180	12,93	0,0190	14,20	0,0051	5,22	0,0180	9,57
Kieselerde (Si O_2) . .	0,0017	1,22	0,0010	0,76	0,0012	1,23	0,0031	1,65
Thonerde (Al_2 O_3) . .	0,0033	2,37	0,0008	0,59	0,0031	3,17	0,0010	0,53
Eisenoxyd (Fe_2 O_3) .	0,0001	0,07	0,0001	0,08	0,0001	0,11	0,0001	0,05
Manganooxyd (Mn O)	Spur	—	Spur	—	—	—	Spur	—
Kali (K_2 O)	0,0036	2,59	0,0020	1,48	0,0013	1,33	0,0019	1,01
Natron (Na_2 O) . . .	0,0018	1,29	0,0019	1,42	0,0007	0,72	0,0022	1,17
Chlor (Cl)	0,0021	1,51	0,0010	0,76	0,0006	0,61	0,0010	0,53
Schwefelsäure (S O_3)	0,0053	3,87	0,0041	3,07	0,0045	4,61	0,0178	9,46
Salpetrige Säure (N_2 O_3)	0,0001	0,07	—	—	—	—	—	—
Salpetersäure (N_2 O_5)	Spur	—	—	—	—	—	—	—
Phosphorsäure (P_2 O_5)	Spur	—	Spur	—	0,0001	0,11	Spur	—
Kohlensäure (C O_2) und Organisches	0,0575	41,31	0,0584	43,65	0,0388	39,71	0,0711	37,82
Gesamtrückstand	0,1392	—	0,1388	—	0,0977	—	0,1880	—

Nach dieser neuen Analyse hat also das Wasser des Würmsees noch erheblich weniger Salzgehalt, als A. Thiem nach unserer früheren Mitteilung (S. 166) gefunden hatte. Die chemische Beschaffenheit scheint danach größeren Schwankungen unterworfen zu sein. Beide Analysen stimmen aber darin überein, daß die organischen Bei-

Digitized by Google

mengungen einen großen Prozentsatz des Trockenrückstandes ausmachen. Der Hauptbestandteil dieses ist Kalk und Magnesia, dem über 45 % zufallen. Eisen ist nur in sehr geringen Mengen vorhanden. Daß es dem Wasser nicht fehlen konnte, war aus den Funden von Seeerz am Grunde wohl anzunehmen.

Daß die im Wasser gelösten organischen Beimengungen auf die Farbe des Wassers einen Einfluß ausüben, erscheint nach der obigen Tabelle sehr unwahrscheinlich, da die in ihren Farben sehr verschiedenen Seen in Bezug auf den Gehalt an Kohlensäure und organischer Substanz sehr nahe stehen. Allerdings sind Würmsee, Schliersee und Walchensee, die grünes Wasser haben, entschieden reicher an solchen Beimengungen als der Königsee, der weit blaueres Wasser hat. Im Schliersee dürfte die grüne Färbung auf die große optische Trübung zurückzuführen sein. Außerdem aber geht aus den Angaben auch nicht hervor, wieviel von den Mengen an Kohlensäure und Organischem allein auf organische Lösungen zu setzen ist. Schwager hält die Menge organischer Substanz in dem Wasser der Seen immerhin für ausreichend, um diesem eine bestimmte Farbe zu verleihen. Nach seiner Anschauung sind die Umfärbungen der Naturwässer von Blau zum Grün wesentlich durch Lösungen von Humuskörpern bedingt.[2]

Daß der Gehalt des Seewassers an chemischen Beimengungen veränderlich ist, geht aus einigen weiteren, dem Verfasser erst jetzt zugegangenen Analysen von Schwager hervor. Danach ergab eine Wasserprobe, geschöpft am 17. Juni 1888 an der Landungsbrücke bei Berg, einen Gesamtrückstand von 0,1603 gr, eine andere, bei Leoni am 15. Mai 1893 dem See entnommen, einen solchen von 0,1605 gr. In der letzteren Probe fanden sich an Kalk 0,0464, an Magnesia 0,0181 gr, also annähernd die gleichen Mengen wie in der Probe vom 28. Oktober 1894.

Litteratur.

[1] A. Schwager, Wasseranalysen. (Geognostische Jahreshefte, 7. Jahrg. 1894, S. 90.)

[2] A. Schwager, Hydrochemische Untersuchungen oberbayerischer Seen. (Geognostische Jahreshefte. 10. Jahrg. 1897.)

Digitized by Google

Zusammenstellung der Hauptergebnisse.

I.

Der Würmsee oder Starenberger See liegt auf der oberbayerischen Hochebene innerhalb der Moränenlandschaft der letzten diluvialen Vergletscherung. Er bildet die tiefste Senke eines vielgestaltigen Geländes, das östlich des Sees steil, westlich allmählich in Terrassen aufsteigt. Sein Zuflußgebiet ist sehr klein, es umfaßt nur 240 qkm. Der Abfluß erfolgt durch die Würm, die etwa 50 % des im Seegebiete fallenden Niederschlages abführt.

Im Südwesten des Sees, westlich von Seehaupt, liegt eine echte Drumlinslandschaft.

Das Seebecken stellt sich nach den neuen Lotungen im südlichen Teile als eine breite Mulde mit sanften Gehängen, im nördlichen dagegen als eine tiefe Rinne dar, deren Gehänge nach Osten bis zum Seespiegel steil ansteigen, nach Westen sich terrassenförmig erheben. Hierin zeigt sich eine vollkommene Übereinstimmung in dem Relief des Bodens unterhalb und oberhalb des Wassers. Das Becken selbst besitzt einen deutlichen Schweb. Die flache Litoralzone ist meist sehr schmal, eine echte Wysse im allgemeinen nur am Ostufer vorhanden.

Der See mißt nach den amtlichen Angaben 57,3, nach planimetrischer Vermessung der Positionsblätter 57,1 qkm. Seine Umrißlinie zeigt eine sehr geringe Gliederung. Der Umfang beträgt rund 49,5 km und ist 1,87 mal größer als der kleinstmögliche.

Die Meereshöhe des mittleren Wasserspiegels ist 584 m, die des tiefsten Grundes 461 m. Die Maximaltiefe ergiebt sich demnach zu 123 m. Die mittlere Tiefe wurde zu 54 m, der Inhalt des Beckens zu 3100 Mill. cbm, die mittlere Böschung zu 3° 40′ berechnet.

Die obersten Ablagerungen in der Seeumgebung gehören fast durchweg dem Diluvium an, das Becken selbst aber ist vermutlich ganz in den tertiären Flinz eingebettet. Auf diesem lagert der

Digitized by Google

Deckenschotter, der auf der Ostseite bis zu einer Höhe von 50 m aufragt. Die Senken im Deckenschotter sind meist mit Schottern der späteren Eiszeiten ausgefüllt. Über alle diese Ablagerungen hinweg ist als oberste Decke die Moräne der letzten Vergletscherung ausgebreitet. Sie bedingt die eigentümlichen Bodenformen im See wie in der Seeumgebung. Die Gesteinsschichten scheinen nicht mehr in völlig ungestörter Lage sich zu befinden. Ihr gegenwärtiges geringes Ansteigen nach den Alpen hin, die große Senke vor dem Gebirge selbst und die mehrfach vorhandenen toten Flußthäler, sowie die offenbar postglaciale Ablenkung der Flußläufe deuten auf eine späte Krustenbewegung im Gebiete der Alpen und ihres Vorlandes.

Seit dem Rückzuge des Gletschers hat das Gelände nur noch geringe Änderungen erfahren. Das Becken selbst ist jedoch noch während und nach der letzten Eiszeit umgestaltet worden, vor allem wurde das obere und untere Ende noch mit Schottern und Moränenschutt ausgefüllt.

Der Seegrund wird in der Tiefe überall von einem thonigmergeligen Schlick gebildet, der in reichen Mengen Seeerz enthält. In der Litoralgrenze bedecken meist Gerölle den Boden, unter denen sich von Mückenlarven erzeugte Furchensteine finden.

Aus den morphologischen und geologischen Verhältnissen ergiebt sich folgende Entstehung des Sees: Der See ist eine alte Erosionsrinne, die durch fließendes Wasser gebildet wurde; die Entstehung der Rinne fällt in die Zeit zwischen dem Rückzuge des vorletzten und dem Vorrücken des letzten diluvialen Gletschers. In die Rinne legte sich der vorrückende Gletscher und schützte sie vor Ausfüllung. Am Ende des Gletschers wurde durch die Stirnmoräne das Thal abgedämmt und so das Becken geschaffen. Gleichzeitig wurde vermutlich durch ein Einsinken des Landes nach den Alpen hin die Sohle der Rinne in eine niedere Meereshöhe gebracht und das voralpine Flußsystem verändert, wodurch das Becken vor der Ausfüllung mit Schutt bewahrt blieb.

Für die glaciale Erosion ergaben sich aus der Gestalt des Beckens wie aus den geologischen Befunden keine zwingenden Beweise. Dagegen sprechen die morphologischen Verhältnisse im See und in dessen Umgebung deutlich für die Bildung der Hohlform durch Wassererosion.

Der Würmsee ist hiernach ein sekundäres Becken, das erst durch Abdämmung einer durch fließendes Wasser geschaffenen Rinne gebildet wurde. Da in den bisherigen Klassifikationen der Seen derartige sekundäre Bildungen nicht in genügender Weise Berücksichtigung gefunden haben, so gab die Untersuchung über die Entstehung

Digitized by Google

des Würmsees Veranlassung zur Aufstellung eines neuen Systems der Seen, in denen die primären und sekundären Gebilde zwei Hauptgruppen darstellen und die Art der seebildenden Vorgänge das weitere Einteilungsprinzip liefert.

II.

In dem verhältnismäßig tiefen See erfährt das Wasser während des Sommers nur in den obersten Schichten eine starke Erwärmung. Es bildet sich im Sommer eine deutliche Sprungschicht, die bis zum Herbst bestehen bleibt. Die sommerliche Erwärmung dringt im allgemeinen bis zu großen Tiefen, zuweilen bis zum Grunde vor. An der Oberfläche wird das Wasser des von flachen Ufern umgebenen, also reich bestrahlten Wassers stark erwärmt. Das beobachtete Maximum beträgt 23,9°. Im Winter kühlt sich das Wasser nur nach längeren Kälteperioden bis zum Gefrierpunkt ab; dann überzieht sich der See bei ruhigem Wetter auch mit einer Eisdecke.

Die Temperatur ist gleichzeitig an verschiedenen Punkten des Sees nicht dieselbe. Sowohl an der Oberfläche wie auch in den gleichen Tiefen zeigen sich erhebliche Unterschiede. Die Flächen gleicher Temperatur sind wellig und sanft ansteigend.

Die Sprungschicht ist erst vom Juni an deutlich ausgeprägt, sie erscheint zuerst nahe der Oberfläche und senkt sich dann bis zum Oktober allmählich immer tiefer ein. Neben der Hauptsprungschicht, der jährlichen, bemerken wir häufig sekundäre Sprungschichten, die als periodische oder tägliche zu bezeichnen sind. Von Jahr zu Jahr tritt die Sprungschicht annähernd in gleicher Tiefe auf.

Ein Vergleich mit anderen Seen ergiebt, daß die Temperaturverhältnisse im Würmsee wesentlich durch die Lage innerhalb eines Hügellandes, sowie durch die geringe Klarheit des Wassers bedingt werden. Die Hauptursache der Erwärmung der gesamten Wassermasse ist die Sonnenstrahlung.

Außer im Würmsee wurden noch im Schliersee, Walchensee, Achensee und Königsee thermische Messungen vorgenommen. Die Ergebnisse zwingen zu einer neuen Klassifikation der Seen nach ihren vertikalen Temperaturverhältnissen.

Eine beständige Zunahme der Wärme unmittelbar am Grunde konnte im Würmsee nicht festgestellt werden. Eine solche ist nur im Königsee gefunden worden. Die Erklärung dieser Erscheinung von Richter, der sie für eine Wirkung der Erdwärme hält, kann noch nicht als befriedigend angesehen werden.

Digitized by Google

Das Wasser des Sees hat eine grüne Farbe, die im Winter etwas mehr ins Blaue, im Sommer ins Gelblichbraune spielt. Nach der Forel-Uleschen Skala liegt sie zwischen 8 und 13. Nach den Beobachtungen mit einer neuen Skala ergiebt sich die Farbe im Sommer als eine durchaus grüne, in der jedoch auch etwas Braun enthalten ist. Die Ursache der Wasserfarbe ist die mechanische Trübung durch feinste suspendierte Teilchen, der Gehalt an organischen Lösungen und die optischen Einflüsse thermischer Strömungen.

Die Sichttiefe liegt im Sommer bei 3—4 m, im Winter bei 14 m. Die Grenze des Lichtes wurde im September etwa bei 60 m gefunden. Die sommerliche Verminderung der Sichttiefe ist in erster Linie auf die optische Trübung des Wassers durch die thermischen Strömungen zurückzuführen.

Unter der Wirkung des Windes bilden sich auf dem See Wellen, die im allgemeinen bei Wind bis zur Stärke 8 der Beaufortschen Skala eine Höhe von 20—30 cm erreichen. Außerdem sind jetzt mit Hilfe eines selbstthätigen Limnimeter durch H. Ebert auch stehende Wellen, Seiches, beobachtet worden.

Innerhalb des Seebeckens stellen sich auch horizontale Bewegungen, Strömungen, ein, die durch dynamische und thermische Störungen des Gleichgewichtes zu erklären sind. Zu ihnen gehört vermutlich das sogenannte „Rinnen des Sees".

Die Wasserstandsänderungen lehren, daß der See vorwiegend unmittelbar durch das Regenwasser gespeist wird. Die absolute Schwankung des Wasserstandes beträgt 1,58 m, die absoluten Schwankungen in den einzelnen Jahren liegen zwischen 0,24 und 0,97 m; die mittlere Jahresamplitude erreicht 25 cm, der niedrigste Wasserstand fällt auf den Februar, der höchste auf den August.

Nach der von A. Schwager ausgeführten chemischen Analyse geben 1000 gr Wasser des Sees 0,1392 gr Trockenrückstand, von dem 45,7 % Kalk und Magnesia, 41,3 % Kohlensäure und organische Substanz sind.

Digitized by Google

Register.

Die Ziffern bedeuten die Seitenzahlen.

Abdämmungsbecken 100, 101.
Abfluß des Sees, Temp. 129.
Abflußlose Seen 104.
Abflußmenge 22, 23, 24.
Abflußrinne 24, 25, 70, 93, Bildung 73, diluviale 91.
Abgliederungsbecken 100, 101.
Abkühlung des Wassers, Vordringen in die Tiefe 124, 151, nächtliche 130.
Abrasion 84.
Abrasionsfläche 72, 73.
Abschmelzen der Gletscher am Grunde 84.
Ache 23.
Achensee 83, Wassertemp. 141f., 154, Wasserfarbe 159, 164, 168, Sichttiefe 174.
Aeppli 9, 81.
Aeussere Moränen 64, 67, 89.
Akustische Erscheinungen über Seen 181f.
Algen, Bildung von Furchensteinen 75.
Alpen, Senkung 69, 93f.
Alpenseen, Wassertemp. 141f., Wasserfarbe 165.
Alter des Würmsees 87.
Ambach 15, 17, 24, 41, 62, physikal. Messungen 116, Wassertemp. 140.
Ammer 13, 92.
Ammergletscher 71.
Ammerland 15, 18, 23, 41, 42, 43, 92, physikal. Messungen 116.
Ammersee 2, 8, 13, 15, 16, 49, 52, 68, 91, 93, 94, 95, 152, Endmoräne 67.
Ammon, L. von 5, 10, 60, 61, 62, 79.
Amper s. Ammer.
Amslersches Polarplanimeter 48.
Amthor 40.
Anschwemmungsgebiet, Wannen 104.
Apian 6.
Atlas der österreichischen Alpenseen 38.
Aufkirchen 15.
Aufschlüsse am See, geolog. 60.
Aufschüttungsbecken 102, 103.
August, vertikale Temperaturvert. 125, 126, 127, Sprungschicht 133.
Ausgleichsströme s. Konvektionsströme.
Ausräumung durch Gletscher 81, 84, 101.
Ausräumungsbecken 99, 100, 101, 102, 103.
Aventin 6.

Badersee 157.
Baltische Moränenlandschaft 13.
Baltische Seen 16, Bildung 99, Temp. 146, Wasserfarbe 165.
Bareisalgraben 24.
Bavaria 8.
Bayerische Hochebene 12.
Bayerisches Alpenvorland, Niveauveränderung 93, 94.
Becken des Sees, Gestalt 40f.
Beckenform, Einfluß auf Wassertemp. 152f., glaciale 79.
Berg 41, 43, 63, 66, 81, 95.
Berg im See 43, 44, Beweis gegen Gletschererosion 81.
Bernried 15, 16, 18, 21, 24, 41, 42, 44, 46, 49, 51, 74, 81, 91, physikalische Messungen 116, Grundwassertemp. 130, Wassertemp. 140, Lichtbrechung 180, Hörweite 181, Seichesbeobachtung 184.
Beschattung, Einfluß auf Wassertemp. 149.
Beuerberg 62.
Blümcke 84.
Boas, Fr. 170.
Bodenabsatz im See 74.

Digitized by Google

Bodenbach 23.
Bodenformen, glaciale 80.
Bodengestalt in und am See 47, Beweis für Wassererosion 90f.
Bodensee 22, 52, 59, Temperatur 111, Lichtgrenze 175, 178, 179.
Böige Winde, Ursache der Wellen 187.
Böschung des Seebodens 44f., mittlere des Seebeckens 58.
Brandung, Einfluß auf das Ufer 72.
Breite des Sees 51, größte 17.
Bruchgebiete, Seen 104.
Brückner 84, 197.
Bucklige Welt 13.
Bussole 27, 35.

Chemische Beschaffenheit des Wassers 166, 198, Einfluß auf Schichtung 151.
Chiemsee 49, 52, 91.
Chodat, R. C. 77.
Chun 176.
Conger, N. G. 113.
Credner, R. 101.

Dammbecken 102.
Dammseen 102.
Dampferläuten, Hörweite 181.
Dampferwellen 185.
Davis 100, 101, 102.
Deckenschotter 62, 63, 66, 67, 71, 86, 87, 89, 92, Neigung 68, 94, 95, 96.
Deixlfurter See 24.
Delta im See 16, 17, 18, 70, 73.
Denivellationen der Seefläche 182.
Depression am Fuße der Alpen 13.
Diathermansie des Wassers 124, 125, 126.
Diffuses Licht im Wasser 173.
Diluvium, Gliederung 62, Ablagerungen am See 62f.
Drumlins 13, 19, Bildung 66, 70, 71, 88, im See 43.
Drumlinslandschaft 15, 19.
Dünung 186.
Durchsichtigkeit des Wassers 169f., Einfluß auf Temperatur 127, 144, 149, 152f., Einfluß auf Wasserfarbe 167.

Eberfing 19.
Ebert, H. 185, 189.
Echo in der Luft 182.
Eigenfarbe des Wassers 155, 156.
Einbruchsbecken 100, 101, 102.
Einsenkungsbecken 103.
Eintiefungsseen 102.
Eisdecke 109, 110, Wassertemperatur 124.
Eisen, Einfluß auf Wasserfarbe 166.
Endmoränenwall 14, 66.
Entfernungen, Schätzung über Wasser 180.
Entstehung des Würmsees 8, 9, 96.
Entstehungsarten der Seen 98.
Erdoberfläche, Krümmung 182.
Erdwärme, Einfluß auf Wassertemperatur 128, 150f.
Erosion, jüngere in der Seeumgebung 69, subglaciale 70.
Erosionsbecken, Beweise 86.
Erosionshügelland 71.
Erosionsseen 99, 102.
Eurasburg 62.
Evorsion 99.
Evorsionsbecken 102.
Exkavation 101.
Explosionsbecken 100, 101, 102.

Faakersee 145.
Färbeflüssigkeiten 160, 161.
Fäulniswärme, Einfluß auf Wassertemp. 150.
Fahrrichtung, Bestimmung 26.
Faltung, diluviale 94.
Faltungsgebiete, Seen 104.
Farbe des Wassers s. Wasserfarbe.
Farbenskala, Forel-Ulesche 154f., neue 158f.
Farbenwechsel auf Seeflächen 181.
Farchach 64.
Fehler, der Längenmessungen auf Karten 49, 50, der Lotungen 30, 31, 32, 35, 37.
Feldafing 17, 42.
Felsbecken 101.
Festlandseen 101.
Filz 12.
Finsterwalder 27, 59, 84, 85.
Fjordbildung 85.
Flachlandseen, Wassertemp. 153.
Flächen gleicher Wärme im See 137, 138.
Fließendes Wasser, Arbeit im Seegebiet 87, 88, 89, Seebildung 99.
Flinz 24, 61.
Flußablenkungen 68.
Flußniederungen, Seen 104.
Flußrinnen 80.
Flußsystem, Aenderung in Bayern 68, 69, 93f.
Flußthäler, Gestalt 90f., rezente in Oberbayern 41, 46.
Flußthal, Form des Seebeckens 46.
Fluvioglaciale Bildungen 66.
Forel, F. A. 77, 99, 100, 125, 152, 154, 155, 156, 160, 166, 172, 173, 175, 180, 183, 184, 187.
Forelsche Farbenskala 154, 161, Zulänglichkeit 156, 165.
Forster, E. 5.

Digitized by Google

Fraas, E. 63, 77.
Freising 12.
Früh, Joh. 10, 19, 70, 71.
Furchensteine 74f.

Garatshausen 42, 46.
Gebirgsseen, Wassertemp. 153.
Gebirgswannen 104.
Gefälle, rückläufiges im See 82, 92, 96, des alpinen Vorlandes 95.
Gefrieren des Sees 108, 109, 110.
Gehängeform der Seeufer 43, 44.
Geinitz 99, 100.
Geistbeck, Alois 1, 2, 5, 9, 25, 31, 35, 39, 40, 48, 52, 57, 79, 152.
Gemäßigte Seen 125, 152f.
Genetisches Prinzip der Seeklassifikation 98f.
Genfer See 22, 59, Lichtgrenze 175, 179, optische Erscheinungen 180.
Geologische Beweise der Gletschererosion 85f.
Geologische Karte der Seeumgebung 61.
Geographische Verbreitung der Seen 104.
eographische Verhältnisse, Beziehung zur Wasserfarbe 165.
Geröll am Seegrund 43, 74f.
Gewitternasen, Einfluß auf Seiches 185.
Glacialerosion s. Gletschererosion.
Glacialgebiete s. Gletschergebiete.
Glacialseen 90.
Glacialtheorie 7, 8.
Gletscher, Ursache der Bodengestalt 70, physikalische Eigenschaften 80, 83, 91.
Gletschererosion 2, 8, 9, 71, morpholog. Beweise 79f., geolog. Beweise 85f., Ansichten über 101.
Gletschergebiete, Bodengestalt 83, Seenreichtum 85, Wannen 104.
Gletscherschliffe 63, 71, 81, 84.
Gliederung des Sees 49.
Grad der Farben 155.
Grenzentwicklung 49, 51.
Grenzgraben 24.
Gruber 6.
Gruithuisen 7.
Grundmoränenlandschaft 13, 19.
Grundtemperatur in Seen 128, 149f.
Grundwasser 23, Temp. 130, Beziehung zum Wasserstand 194, 195.
Günther, Siegmund 7.
Gümbel, W. von 8, 60, 61, 85, 95.

Halbfaß, W. 155.
Halde 41, 42.
Halstätter See 172.
Hanfleinen 30, 31.
Hang am See 44.
Happerg 21.
Hasenkamp, H. von 163, 164.
Heim 1, 8, 9, 60, 69, 79, 93.
Helligkeit der Farben 155.
Helmholtz 170.
Hergesell 115, 137.
Hilfsmittel 4.
Himmelszustand, Einfluß auf Sichttiefe 170, 172.
Himmelsspiegelungen im Wasser 181.
Hirtbach, Temp. 129.
Hochterrassenschotter 64, 67.
Hochwasser 194f.
Höhenlinien 38, 39.
Höhenried 16, 42.
Hörweite über Seen 181.
Hofer, Br. 177.
Hohlform des Beckens, Ursprung 82.
Horizontale Bewegungen des Wassers 188f.
Horizontale Temperaturänderungen im See 113, 115, 137.
Horn 16, 42, 43, 44, 46, 49.
Hügellandseen, Wassertemp. 153.
Humuskörper, Lösungen im Wasser 166.
Hydrotechnisches Bureau in München 45.
Hypsographische Kurve 56, 58.
Hypsoklinographische Kurve 58.
Hypsometrische Karte 7.

Iffeldorf 16.
Ingolstadt 12.
Innere Moränen 64f., 67, 89.
Inngletscher 67.
Inseln 17, 49.
Insolation, Messung 113.
Instrumente 4.
Insulosität 49.
Interglacialzeit 67.
Isar 13.
Isargletscher 67, 71, 92.
Isarthal 63, 66, 90.
Isobathen s. Tiefenlinien.
Isohypsen s. Höhenlinien.
Isolierte Seen 104.

Jährliche Sprungschicht 132.
Jährlicher Gang der Oberflächentemperatur 109f., der vertikalen Temperaturverteilung 123, des Wasserstandes 197.
Jahreszeitliche Aenderung der Wasserfarbe 167.
Januar, Vertik. Temperaturvert. 123.
Jenhausen 18.
Juni, vertikale Temperaturverteilung 125, Sprungschicht 133.

Digitized by Google

Juli, vertikale Temperaturverteilung 125, Sprungschicht 133.

Kalkgraben 24, 61, 63.
Kalte Seen 152.
Karbildung 85.
Karlsburg 64.
Karpfenwinkel 15, 16, 17, 21, 24, 42, 46, 49, 66, 74.
Karrach, Temp. 129.
Karte, Ungenauigkeit 35, der Lotungen 37, 38, geolog. 61.
Kartenmaterial 4, 6, 7.
Kellerbach 23, 24.
Kempfenhausen, Seichesbeobachtung 185.
Kesselberg 67.
Kimme 180.
Kirchner, O. 75.
Klassifikation der Seen 98f., thermische 152f.
Kliff am See 44.
Klimaschwankungen 197.
Klimatische Verhältnisse 22, 23.
Kochelsee 13, 14, 95.
Königssee, Sonnenstrahlung 114, Wassertemp. 147f., 154, Wasserfarbe 159, Sichttiefe 174, chemische Beschaffenheit 198.
Konservierende Wirkung der Gletscher 83.
Konstanz der Wasserfarbe 164, der Sichttiefe 171.
Kontinentale Gliederung, Becken der 100, 101, 103.
Konvektionsströme, thermische Entstehung 127, Einfluß auf vertikale Temperaturvert. 131, Einfluß auf Wasserfarbe 167, Einfluß auf Sichttiefe 173.
Kräuselung des Wassers 186, 187.
Krustenbewegung 68, 69.
Krümmel 170.
Kurvimeter 49, 50.
Kurvimetrierung, Fehler 50.

Länge des Sees 51.
Längenmessungen auf Karten 49, 50.
Längsthäler 24.
Land, Strahlung über 114.
Landschaftsbild des Würmsees 90.
Langenbeck 115, 137.
Laufen des Sees 190.
Lechgletscher 67.
Lehm 64, 67.
Leoni 61, physikal. Messungen 116.
Leutstetten 23, 62, 66, Sichtbarkeit 180.
Liburnau, Lorenz von 155, 172.
Licht, diffuses im Wasser 173.
Lichtbrechung über Wasser 180.
Lichtgrenze im Wasser 145, 175f.
Limnimeter 185.
Lingg 51, 52, 180, 183.
Litoralzone, Seegrund 74.
Löß 64, 67.
Loisach 68.
Loisachthal 13, 62, 63.
Lot, Konstruktion 32.
Lotapparat 31, 32, Korrektur 122, Bestimmung der Sichttiefe 169.
Lotleine 30.
Lotungen, Karte der 37, 38, Zuverlässigkeit 30, 33, thermische 116.
Lotungsprofile, Beispiel 34, Lage 36, mittlere Tiefe 54, Gestalt 91.
Lotungsstelle, Festlegung 28, 29.
Lovibon, J. W. 159.
Luftdruck, Einfluß auf Seiches 183, 185.
Luftecho 182.
Luftpuffe 182.
Lufttemperatur, Einfluß der Wassertemp. auf 114, Bestimmungen 123.
Luksch 176.

März, vertikale Temperaturvert. 123.
Magnetnadel, Mißweisung 36.
Mai, vertikale Temperaturverteilung 125, Sprungschicht 133.
Maisinger Bach 24, 61, 62, 63.
Martelsgraben 24.
Mauersee, Temp. 146, 154.
Maximaltiefe 7, 39, 40, 92, Lage 41, 45, 91, relative 52, 57.
Mechanische Trübung des Wassers 171.
Meereshöhe des Seespiegels 38, 51.
Millstätter See 145.
Mittelwasser 191.
Mittlere Tiefe 52f., der Profile 54.
Möser 12.
Moore, Bildung 23, 72, 74, eisenhalt. Wasser 77.
Moorwasser, Färbung 165, 166.
Moränen, Richtung im Seegebiet 88, 90.
Moränenablagerungen im See 65.
Moränenhügel 19, 65, 66.
Moränenlandschaft 12, 17.
Moränenschutt, wasserundurchlässig 23, 25.
Moränenseen 16, 90.
Moränenterrassen 18, Bildung 70.
Morpholog. Beweise der Gletschererosion 79f.
Morphometrie, Wert derselben 47.
Mückenlarven, Erzeuger von Furchensteinen 75.
Mühlthal 62, 63, 64, 66, 67, 68, 86, 96.

Digitized by Google

München 64, 94, 95, 96, Grundwasser 194, Niederschlag 195.
Münchener Schotterfläche 12, 67.
Münsing 23.

Nagelfluh 64, diluviale s. Deckenschotter.
Nantesbuch 62.
Nascenter Niederschlag, Ursache der Wassertrübung 164.
Nebel, Einfluß auf Hörweite 182.
Negretti und Zambra 116.
Neureuther 4.
Niagarafall 101.
Niederpöcking 46, 49.
Niederschlag, Einfluß auf den Wasserstand 25, 190f., Einfluß auf Wassertemp. 112, 128, 130.
Niederschlagshöhe am See 22.
Niederterrassenschotter 64, 66, 67, 87, 88, 89, 90, 95.
Niedrigstwasser 194f.
Niveauveränderung im Seegebiet 93f.
Nivellement am See 183.
Noë 40.
Nordamerika, grosse Seen 113.
Norddeutsche Moränenlandschaft 13, Seen 1.
Nullpunkt des Pegels 51, 191.

Oberdeutsche Hochebene 12.
Oberflächentemperaturen, Tabelle 108, 112, in Alpenseen 141f., Wechsel 115.
Oberhummer, E. 6.
Oberzeismering 21.
Oelflecke 187.
Oktober, vertikale Temperaturvert. 125, 126, 127, Sprungschicht 136.
Optische Erscheinungen im Würmsee 180.
Optische Trübung des Wassers 167, 171f.
Organische Beimengungen, Einfluß auf Wasserfarbe 165, 166, 168, Trübung des Wassers 171, 174, 179, im Würmseewasser 198.
Ortsbestimmungen 35, 36.
Ortschaften 15.
Ostersee 16, 23, 49, 62, 74, 90.
Ostufer 15, 16, 17.

Papierschnitzel, Abtreiben 29.
Pasquiers, Leon du 94.
Pegel am See 191.
Pegelnullpunkt 51, 191.
Periodizität der Wasserstände 196.
Periodische Sprungschicht 132.
Penck, A. 1, 5, 8, 9, 12, 38, 60, 61, 68, 79, 81, 83, 85, 86, 87, 89, 93, 94, Einteilung der Seen 104.
Percha 21, 23, 64, 81.
Peschel, O. 101.
Petersen 176.
Peucker 57, 59.
Pfaff 9.
Pfaffenhofen 12.
Pfahlbauten 9.
Pflanzen, Anteil am Bodenabsatz 74.
Photographische Apparate zur Lichtbestimmung 176f.
Photographische Methode der Lichtbestimmung 175f.
Physikalische Eigenschaften des Gletschers 80, 83, 91.
Plan der Untersuchung 3.
Planimeter 48.
Plankton, Einfluß auf Wasserfarbe 168.
Pleistocän, Ablagerung am See 63f.
Plemyrameter 184.
Plöner See 189.
Polarkurvimeter 49.
Positionsblätter 4, 7, 39, 48, 50, 51.
Possenhofen 24, 42, 46.
Postglaciale Bildungen am See 69f.
Pöcking 17, 18.
Polarer Seentypus 152.
Primäre Seen 103.
Prismenkreuz 27.
Profile des Seebeckens 39, 44f., geolog. 61, thermische 123, 138.
Profillinien, Bestimmung 26, 27.

Quellen 23.
Quellenthermometer 108.
Querthäler 24.

Rasenerz 77, 78.
Ratzel, Fr. 2, 9.
Reexkavation 8, 81.
Reflexion der Wärme auf Seen 113.
Regen s. Niederschlag.
Regensburg 12.
Reichskarte, deutsche 7.
Reliktenseen 101.
Rhone 84.
Richter 25, 28, 38, 85, 115, 124, 128, 130, 145, 149, 150, 151.
Richthofen, Ferd. von 98, 99, 100, 101, 102, 104.
Riedl, Adrian von 7, 40.
Rinnen des Sees 188f.
Röthlbach 24.
Roseninsel 17, 42, 46, 49, 50, Pfahlbauten 9.
Ruderschläge, Abstände nach 28.

Digitized by Google

Säkulare Aenderung des Wasserstandes 191f.
Sand, Seegrund 43.
St. Heinrich 15, 16, 17, 23, 62, 69, 72.
Schaalsee 157.
Schäftlarn 66.
Schallverstärkung über Wasser 182.
Schaubach 40.
Schlagintweit, Herm. von 9, 40.
Schlick 43, 74.
Schliersee, Sonnenstrahlung 114, Wassertemp. 141f., 154, Wasserfarbe 159, Sichttiefe 174, 175, chemische Beschaffenheit 198.
Schlosser 62.
Schmelzwasser, Größe 86, 87, 89, 93.
Schotter, lockerer von Moränen überdeckt 81.
Schotterfläche 12, Münchener 64, 92, zerstückelte 71.
Schröter, C. 75.
Schuttabdämmung 103.
Schuttlandbecken 100.
Schwager, Adolf 166, 198, 199.
Schwankungen des Wasserstandes 196.
Schwarze Seen 157.
Schwarzkugelthermometer 113.
Schweb 28, 41, 42, 43, 44f.
Schwemmmaterial, Seegrund 43.
Schwimmer, Bestimmung v. Strömungen 188.
Schwingen des Sees 183.
Secchi 169.
Sedlmayr 109.
Seebildungen, mögliche 98.
Seeblühen 166.
Seeburg, Schloß 64, 81, 88, physikal. Messungen 116.
Seeentstehung, Ursachen 78f.
Seerz 77, 78, 199.
Seefläche, Größe 33, 48.
Seegrund 74f., Meereshöhe 52, 91, 92, Moränenschutt 65.
Seen, Alter 85, in der Umgebung des Würmsees 72.
Seeregionen 104.
Seeseiten 15, 16, 18, 46, 49, 51.
Seeshaupt 15, 16, 17, 19, 21, 65, 69, 73, 74, 90.
Seespiegel, Meereshöhe 21, 38, 51, 191, Schwankungen 22, Senkung 73.
Seesysteme 98f.
Seeufer, Gestalt 43, 44.
Seiches 183f., im Würmsee 185, 189, Verdeutschung 190.
Sekundäre Seen 103.
Seligo 172.
Senkung der Alpen 69, des bayerischen Alpenvorlandes 94.
September, vertikale Temperaturvert. 125, 126, 127, Sprungschicht 136.
Sichtbarkeitsgrenze 169f.
Sichttiefe 169f.
Sickerwasser, Speisung des Sees 22.
Siedlungen 15.
Sieger, Rob. 10, 19, 70.
Simony 40.
Simpsonsche Formel 55.
Singerbach 23, Temp. 129.
Skandinavische Seen 77.
Sonnenhöhe, Einfluß auf Sichttiefe 170, 172.
Sonnenstrahlen, Eindringen ins Wasser 125, Messung 113, Ursache der Wassertemp. 127, Aenderung 135.
Soyka, J. 9, 194.
Speisung des Sees 190, Einfluß auf Wasserfarbe 166, Einfluß auf das Niveau 183, auf Strömungen 188.
Sprungschicht, Bildung 131, mehrfache 132, tägliche 132, periodische 132, Veränderlichkeit 133, 135, 137, 138, sekundäre 134, Aenderung von Jahr zu Jahr 140, in Alpenseen 143f., 149, Einfluß auf Sichttiefe 174.
Spring 163, 164, 165, 167, 168, 173, 174.
Staffelsee 13, 14.
Staltach 74.
Stangenplanimeter 48.
Starnberg 15, 21, 23, 24, 61, 62, 63, 66, 68, 69, 80, 82, 94, Pegel 51.
Starzenbach 24.
Staub, Trübung des Wassers 171, 172, 174, 179.
Staubwehungen 73.
Steinbach 23.
Steinhauser 40.
Strömungen im See 29, 188f.
Stromatlas von Bayern 7.
Stromenge, Tiefenerosion 92.
Strudelung fließenden Wassers 101.
Stuhmer Seen 172.
Subglaciale Erosion 70.
Sumpferz 77.
Supan, A. 101, 102.
Suspendierte Teilchen im Wasser, Ursache der Trübung 163.

Taches d'huile 187.
Tachymetrische Messung 180.
Tägliche Sprungschicht 132, 134.
Täglicher Gang der Oberflächentemperatur 112, der Sprungschicht 135.

Digitized by Google

Taltowiskosee, Temp. 146, 154.
Teiche, Ursache 23.
Tektonische Abdämmung 103.
Tektonische Becken 100, 101, 102, 103.
Tektonische Vorgänge 9, 68, Seebildung 86, 93f.
Temperaturveränderungen, örtliche 120, horizontale im Wasser 115, vertikale 133.
Temperaturverteilung, vertikale 9, Einfluß auf Strömungen 189.
Temperierte Seen 152.
Terrassen im Uferland 15, 17, 18, im See 41, 42, 43, 44f.
Tertiär 90, 92, wasserundurchlässig 23, Aufreten am See 61, 62, Faltung 68.
Tertiärhügelland 12.
Thalbildung durch Gletscher 85.
Thalstrecken, tote in Oberbayern 68.
Theodolit 27.
Thermen, Einfluß auf Wassertemp. 151.
Thermische Lotungen 116.
Thermische Profile 123, 138.
Thermische Trübung des Wassers 127, 171, 173, 174.
Thermische Strömungen im See 189.
Thiem, A. 9, 23, 24, 166, 198.
Tiefe, mittlere der Lotungsprofile 91, Einfluß auf Temperatur 128.
Tiefenabstände in den therm. Lotungen 122.
Tiefenerosion fließenden Wassers 91, 92.
Tiefenlinien 27, 47, 48, Verwendung zur Volumenberechnung 55f., Zeichnung 37, 38, 39.
Tiefenmessung 9, 30, 31.
Tiefentemperatur 115f., Tabellen 118, 121, 122, 126, 139, 142, 147.
Tiefenkarte, Zeichnung 35f.
Tiefseethermometer 116f., 137, 150.
Tiere, Anteil am Bodenabsatz 74, Erzeuger der Furchensteine 75f.
Tintometer 159.
Topographischer Atlas von Bayern 7.
Topographisches Bureau in München 4, 7, 13, 61.
Tote Thäler in Oberbayern 68.
Trockengebiete, Wannen 104.
Tropischer Seentypus 152.
Trübung des Wassers 73, 171f., Einfluß auf Temperatur 127, 149, optische 167.
Tutzing 15, 24, 49, 61, 63, 68, 69, 92, 94.
Tyndall 182.

Ufer des Sees 15, 17, 72, Meereshöhe 21.
Uferlinie 49.
Ulesche Farbenskala 154, 161.
Umfang des Sees 50.
Umkehrvorrichtung am Tiefseethermometer 116.
Unterzeismering 16, 49, 61.

Vegetation am See 22.
Venter Ache 84.
Verdunstung 22, Einfluß auf Wassertemp. 113, 132.
Vernagtferner 85.
Vertikale Bewegungen des Wassers 183f.
Vertikalerosion s. Tiefenerosion.
Verwitterung unter dem Gletscher 84.
Volumen des Sees 55f.
Vulkangebiete, Wannen 104.
Vulkanische Abdämmung 103.
Vulkanische Becken 103.

Wärmeausstrahlung im Wasser 124.
Wärmedurchlässigkeit des Wassers 126.
Wärmeschichtung in Seen 152, 124, 125.
Wärmestrahlen, Eindringen ins Wasser 125, Einfluß auf Wassertemperatur 127, 131.
Wagner, Moritz 9.
Walchensee, Sonnenstrahlung 114, Wassertemp. 141f., 154, Wasserfarbe 159, 168, Sichttiefe 169, 174, 175, chemische Beschaffenheit 198.
Wallbecken 102.
Walther, Fr. Wilh. 7, 40.
Wangen 64.
Wannen 104.
Warme Seen 152.
Wasser, physikalische Eigenschaften des fließenden 84, Strahlung über 114.
Wasserbewegung, unterirdische 22, 24.
Wassererosion im Seegebiet 89f.
Wasserfarbe 154f., Tabelle 162, jahreszeitliche Aenderung 167, Beziehung zur chemischen Beschaffenheit 199.
Wasserscheide des Sees 21.
Wasserstand 22, Bedeutung für die Brandung 73, postdiluviale Senkung 73, Tabelle 192.
Wassertemperatur, Einfluß auf Lufttemp. 114, Aenderung von Jahr zu Jahr 140.
Weiß, J. F. 7.
Weißer See im Wasgau 115, 137.
Wellen, Einfluß auf das Ufer 43, 72, 73.
Westenrieder, L. von 6, 7, 9, 14, 15, 16, 17.
Wind, Einfluß auf die Lotungen 30, 33, 35, Einfluß auf das Ufer 43, 72, Seebildung durch 99, Einfluß auf Wassertemp. 140, Einfluß auf Strömungen 183.
Windstau 188, 189.

Digitized by Google

Windwellen 186, 187.
Winkelspiegel 26, 30, 37.
Winter, Sprungschicht 137.
Wippthal 81.
Witterung, Einfluß auf die Wassertemperatur 109f., 141, 133, 134, Angaben über 123, Einfluß auf Wasserfarbe 168, Einfluß auf Sichttiefe 170, Einfluß auf Hörweite 182, Wechsel über dem See 183, Einfluß auf Wasserstand 191.
Wittstein 166.
Wocheiner See 145.
Würm 24, 92, Pegelstand 191.
Würmthal 66, Bildung 86.
Wysse 41, 42, 43.

Zählwerk am Lotapparat 31, 32.
Zeitabstände zwischen den Lotungen 28.
Zeppelin, Graf 190.
Züricher See 9, 81, 93, 94.
Zuflüsse 22f., Delta 16, 17, Erosion 69, Einfluß auf Wassertemperatur 129, 130, 140, Trübung des Wassers 172.
Zufluß des Sees 21f., 190.
Zuflußgebiet des Sees 21, 69, 95.

Digitized by Google

Berichtigungen und Ergänzungen.

S. 8, 15. Zeile von unten: glacialer statt glacaller.
„ 9, 20. „ „ „ Aeppli statt Früh.
„ 39, 5. „ „ „ Maximaltiefe statt Maximalhöhe.
„ 40, 13. „ „ oben: Riedl statt Riedel.
„ 42, 9. „ „ unten: bei Höhenried statt Höhenried.
„ 74, 17. „ „ oben: entsprachen statt entsprechen.
„ 157, 19. „ „ unten: Badersee statt Barersee.
„ 178, die unteren Bilder müssen vertauscht werden.
„ 189, letzter Abschnitt, hinzuzufügen:

Auch Forel ist nach einer brieflichen Mitteilung an Graf Zeppelin der Ansicht, dass das „Rinnen" mit den Seiches nichts zu thun habe. (Die Schwankungen des Bodensees. XXII. Heft d. Schriften d. Vereins für Geschichte des Bodensees und seiner Umgebung. Lindau i. B., 1893.)

Digitized by Google

Digitized by Google

Verlag von DUNCKER & HUMBLOT in Leipzig.

Wissenschaftliche Veröffentlichungen

des Vereins für Erdkunde zu Leipzig.

I. **Beiträge zur Geographie des festen Wassers.** 1891. Preis 8 Mk.

Inhalt: I. Die Firngrenze in Amerika, namentlich in Südamerika und Mexiko. Von Gotthilf Schwarze. (M. e. Profil.) — II. Über Niederschläge und Schneelagerung in der Arktis. Von M. Friedrich. — III. Einfluss des Treibeises auf die Bodengestalt der Polargebiete. Von Lieutenant Georg Hartmann. Mit zwei Karten. — IV. Zur Kenntnis von Eis und Schnee des Kilimandscharo. Von Hans Meyer. — V. Zur Strandlinien- und Terrassen-Litteratur. Von Christian Sandler.

II. **Anthropogeographische Beiträge. — Zur Gebirgskunde,** vorzüglich Beobachtungen über Höhengrenzen und Höhengürtel. 1895. Preis 14 Mk.

Inhalt: I. Die Abhängigkeit der verschiedenen Bevölkerungsdichtigkeiten des Königreichs Sachsen von den geographischen Bedingungen. Von Richard Buschik. — II. Die Volksdichte im westlichen Central-Afrika. Von A. Vierkandt. — III. Der jüngste Schutt der nördlichen Kalkalpen in seinen Beziehungen zum Gebirge, zu Schnee und Wasser, zu Pflanzen und Menschen. Von Albert Fr. J. Bargmann. — IV. Über Höhengrenzen in den Ortleralpen. Von Magnus Fritzsch. — V. Die Regionen am Ätna. Von Paul Hupfer.

III. **Der Sansibar-Archipel.** Ergebnisse einer mit Unterstützung des Vereins für Erdkunde zu Leipzig 1895/96 ausgeführten Forschungsreise von **Oscar Baumann.** Mit Karten und Plänen. Preis 4 Mk. 80 Pf.

Inhalt: I. Die Insel Mafia. 1896. Preis 1 Mk. 80 Pf. — II. Die Insel Sansibar. 1897. Preis 2 Mk. 20 Pf. — III. Die Insel Pemba. 1899. Preis 80 Pf.

IV. **Beiträge zur Geographie des mittleren Deutschland.** Herausgegeben v. **Friedrich Ratzel.** 1899. Preis 9 Mk. 60 Pf.

Inhalt: I. Die Seen des Böhmerwaldes. Von Paul Wagner. — II. Der Fläming. Von Emil Schöne. — III. Über den Parallelismus der Gebirgsrichtungen. Von A. Gukassian. — IV. Kritik orometrischer Werte und Richtungsverhältnisse der Kamm- und Thalbildungen im Thüringerwald i. e. S. Von Max Kändler.

Demnächst erscheinen:

Aus den Hochregionen des Kaukasus.

Wanderungen, Erlebnisse und Beobachtungen

von

Gottfried Merzbacher.

Zwei Bände. Zusammen etwa 120 Bogen gr. 8°. Mit Karten und Abbildungen, nach Photographieen gezeichnet von E. T. Compton, Ernst Platz, M. Z. Diemer und R. Reschreiter.

Landwirtschaft und Kolonisation im spanischen Amerika.

Von

Karl Kaerger.

Zwei Bände. Zusammen etwa 100 Bogen gr. 8°.

Druck von C. G. Naumann, Leipzig.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google